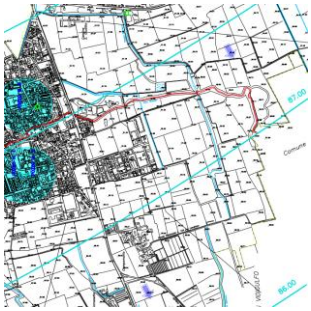
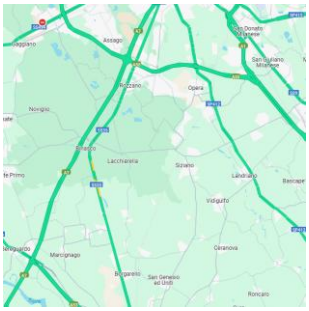
SIZIANO (PV)

RELAZIONE GEOTECNICA - SISMICA (R2)

D.M. 17.01.2018 (NTC 2018)

STACK MIL 07

VIA LOMBARDIA, SIZIANO (PV)

Committente:

Lombardini22 S.p.A.

Via Lombardini 22 20143 Milano, Italia

Simone Scarabelli
10.10.2025
16:32:03
GMT+02:00

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
SIMONE SCARABELLI
geologo specialista
Albo n. 1372 AP
Sezione A

Data 04/09/2025				
cod. 45/25		redatto	corretto	approvato
Rev0	Int1	M.Sala	S.Scarabelli	S.Scarabelli
Rev1	Int2			
Rev2	Int3			
Rev3	Int4			

SOMMARIO

1 PREMESSA 5
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO 6
3 STATO DI FATTO E DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO 7
4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO 9
5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO 13
6 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE 16
6.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO 18
6.1.1 PROVE DI RESISTENZA MECCANICA S.P.T. 19
6.1.2 PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC 20
6.1.3 CAMPIONI INDISTURBATI 20
6.1.4 CAMPIONI RIMANEGGIATI 21
6.1.5 PIEZOMETRI A TUBO APERTO 21
6.2 PROVE PENETROMETRICHE C.P.T. 22
6.3 PROVA MASW 23
6.4 PROVA H.V.S.R. 23
7 MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE DELLE PROVE GEOTECNICHE IN SITO 25
7.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE C.P.T. 25
7.1.1 MODULO ELASTICO (E) DA C.P.T. 26
7.1.2 ANGOLO D'ATTRITO (Φ') DA C.P.T. 26
7.2 PROVE DI RESISTENZA MECCANICA S.P.T. 26
7.2.1 DENSITÀ RELATIVA (D_R) DA S.P.T. 27
7.2.2 MODULO ELASTICO (E) DA S.P.T. 27
7.2.3 ANGOLO D'ATTRITO (Φ') DA S.P.T. 27
8 RISULTATI DELLE PROVE GEOTECNICHE IN SITO 28

8.1 RISULTATI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE C.P.T. 28
8.1.1 C.P.T. 1 29
8.1.2 C.P.T. 2 38
8.1.3 C.P.T. 3 47
8.1.4 C.P.T. 4 56
8.1.5 C.P.T. 5 65
8.1.6 C.P.T. 6 74
8.1.7 C.P.T. 7 83
8.1.8 C.P.T. 8 92
8.1.9 Risultati generali 101
8.2 RISULTATI PROVE DI RESISTENZA MECCANICA S.P.T. 106
8.2.1 NUMERO DI COLPI DA S.P.T. 106
8.2.2 DENSITÀ RELATIVA DA S.P.T. 109
8.2.3 MODULO ELASTICO DA S.P.T. 112
8.2.4 ANGOLO D'ATTRITO DA S.P.T. 115
9 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO 118
10 SISMICITÀ 119
10.1 ZONA SISMICA 119
10.2 CPTI15-DBMI15 V 4.0 130
10.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA 135
10.4 FREQUENZA CARATTERISTICA DI RISONANZA DEL SITO 137
10.5 ANALISI DI II LIVELLO 139
11 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI 142
12 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI 143
13 LIQUEFAZIONE 144

14 CONCLUSIONI 146

ALLEGATO 1 – STRATIGRAFIE SONDAGGI 147

ALLEGATO 2 – RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ 148

ALLEGATO 3 – GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE 149

ALLEGATO 4 – DOCUMENTAZIONE PROVA MASW 150

1 PREMESSA

La presente relazione, redatta per conto della società Lombardini 22 S.p.A., costituisce il supporto geotecnico e sismico preliminare alla progettazione dei lavori per la realizzazione di un nuovo Data Center su un'area sita in Comune di Siziano (PV), via Lombardia.

Figura 1: Ortofoto con ubicazione area in esame.

Tale relazione ottempera a quanto richiesto dal D.M. 17.01.2018 "Norme Tecniche per le Costruzioni" ed è finalizzata in particolare alla definizione delle caratteristiche litologiche dell'area e dell'assetto geotecnico nonché alla caratterizzazione sismica dei terreni di imposta delle previste strutture; in particolare lo scopo dell'indagine è quello di fornire al Progettista utili indicazioni per la scelta delle possibili tipologie fondazionali, in funzione dei carichi di esercizio e delle effettive condizioni litostratigrafiche del volume significativo di terreno interessato dalle opere in progetto.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente elaborato è stato redatto in accordo con le normative di seguito elencate:

- D.M. LL.PP. 11.03.88 *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*;
- D.M. LL.PP. 17.01.18 *"Norme tecniche per le costruzioni – Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n.1086, alla legge 2 febbraio 1974, n.64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n.380, ed al decreto-legge 28 maggio 2004, n.136, convertito con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n.186"*;
- Circolare n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21.01.19 *"Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018"*;
- Eurocodice 7 *"Progettazione geotecnica – parte I: Regole Generale (1997) – parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – parte III: progettazione assistita con prove in sito (2002)"*;
- Eurocodice 8 (1998) *"Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici"*;
- O.P.C.M. n.3519 28.04.06 *"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"*;
- Allegato al voto n.36 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici 27.07.07 *"Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale"*;
- D.G.R. n. IX/2616 30.11.2011 "*Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12', approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n.8/7374",* pubblicata sul BURL n.50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012;
- P.G.T. (Piano di Governo del Territorio) del Comune di Siziano *"Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica"* - Dott. Geol. Alberto Pagano, dicembre 2009, aggiornamenti settembre 2011 e gennaio 2019.

3 STATO DI FATTO E DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area interessata dall'intervento edificatorio si trova in corrispondenza della porzione periferica esterna verso Nord-Est rispetto all'abitato di Siziano (PV), più precisamente in fregio alla Strada Provinciale n.40 Melegnano-Binasco, in una zona caratterizzata da insediamenti di carattere prevalentemente artigianale-industriale.

Nella figura seguente è rappresentato l'inquadramento geografico di riferimento, con indicazione dell'area oggetto di intervento.

Figura 1: Inquadramento geografico di riferimento.

L'area in esame, attualmente occupata da due esistenti capannoni che verranno completamente demoliti, è catastalmente identificata dal Foglio n.3, Mappali n.8,.104, 105, 106 e 138.

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo capannone da adibire a Data Center che presenterà pianta circa rettangolare con dimensioni planimetriche massime di mq 210 x 30 ed elevazione massima di circa 12 metri.

Figura 2: Masterplan intervento in progetto.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto d'interesse è rappresentata nel Foglio n. 59 "Pavia" della Carta Geologica Italiana, in scala 1: 100.000, riportato nella figura seguente.

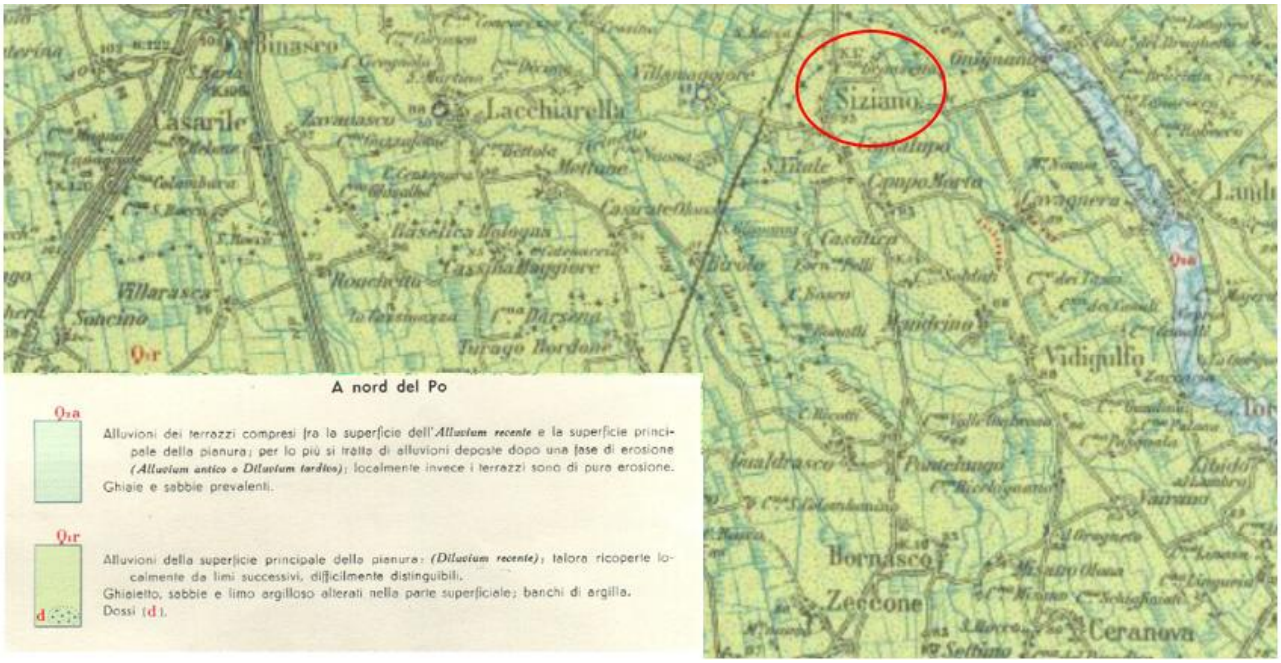


Figura 3: Carta Geologica d'Italia - Foglio Pavia n. 59, in scala 1:100.000.

*Il settore in esame, come la quasi totalità del territorio comunale di Siziano, è caratterizzato da formazioni continentali "**Q_{1r}**", ovvero: "Alluvioni delle superficie principale della pianura (Dilivium recente); talora ricoperte localmente da limi successivi, difficilmente distinguibili. Ghiaietto, sabbie e limo argilloso alterati nella parte superficiale: banchi di argilla. Dossi(d)" (età Quaternario).*

Per quanto riguarda la geomorfologia il territorio comunale di Siziano, ove è collocata l'area di studio, si trova all'interno di un'ampia superficie di terrazzo fluviale, il Piano Generale della Pianura Padana ed è quindi caratterizzato da un paesaggio pianeggiante che si estende tra i fiumi Ticino ad ovest e Adda ad est e che degrada con regolarità verso sud-est. Questi terreni sono stati depositati nella fase di riempimento fluviale – fluvioglaciale che ha interessato la pianura padana in corrispondenza dell'ultima fase glaciale (Pleistocene Superiore). L'evoluzione morfologica postglaciale che ha interessato questo settore di pianura è legata ancora prevalentemente a processi di origine fluviale.

Viene riportata di seguito la "Carta Geomorfologica", in scala 1:5.000 contenuta nel PGT del Comune di Siziano (PV), al fine dell'inquadramento geomorfologico dell'area di studio.

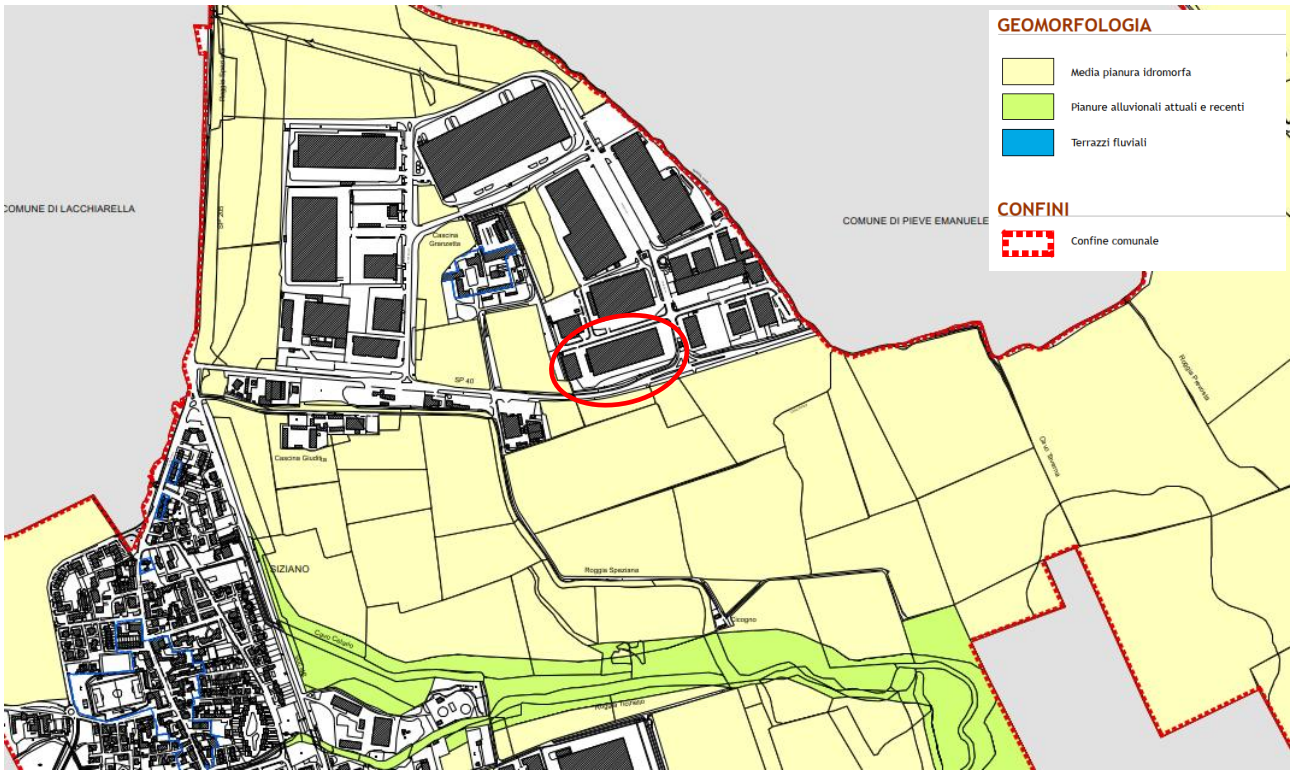


Figura 4: Tav.1 "Carta geomorfologica" scala 1:5.000 PGT del Comune di Siziano.

L'area di studio, secondo quanto rappresentato dalla "Carta geomorfologica", ricade all'interno della "Media pianura idromorfa". La quota della superficie topografica in corrispondenza dell'area di intervento risulta pari a circa 93 metri s.l.m..

Per quanto riguarda la litologia dell'area d'interessa, si riporta di seguito uno stralcio della "Carta Litologica", in scala 1:5.000, contenuta nel PGT del Comune di Siziano. Dalla suddetta carta si evince che il sito d'interesse ricade in un'area caratterizzata litologicamente da "sabbie poco gradate con limo e ghiaia-ghiaie ben gradate con sabbia".

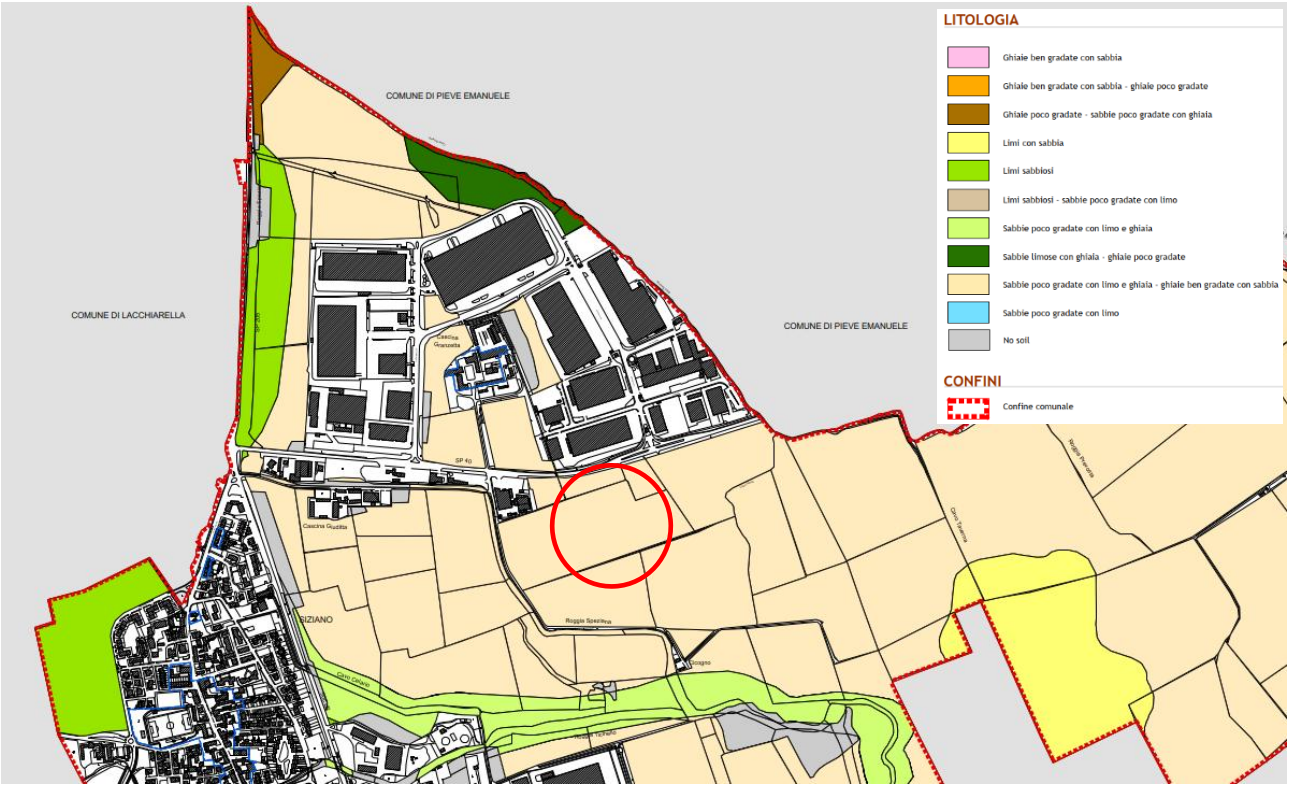


Figura 5: "Carta litologica" scala 1:5.000 PGT del Comune di Siziano.

Di seguito viene riportato un estratto della Tav-3 "Carta di caratterizzazione geotecnica e geopedologica", in scala 1:5000, contenuta nel PGT del Comune di Siziano. Dalla carta si evince che l'area di studio rientra nel sintema L che si riferisce ad una piana fluvioglaciale e fluviale terrazzata del tardo Pleistocene (wurmiana), costituente il livello fondamentale della Pianura lombarda. Il sottosintema LQ indica che il territorio rientra in quel tratto di pianura interessato da fenomeni di idromorfia riconducibili all'emergenza della falda. In particolare, l'area d'interesse rientra nell'unità "LQ3" ovvero: "unità riferita alle aree interposte alle principali depressioni o di transizione verso l'alta pianura fluvioglaciale (aree più a nord), caratterizzate da ondulazioni deboli e aree di raccordo pianeggianti". L'unità LQ£ appartiene ai suoli dei seguenti ordini:

- *Inceptisuoli:* Suoli in cui i processi pedogenetici hanno determinato alterazioni di natura fisicochimica del materiale parentale, caratterizzato da un orizzonte B cambico.
- *Entisuoli:* Suoli poco evoluti con orizzonti limitati e assenza di orizzonti diagnostici.

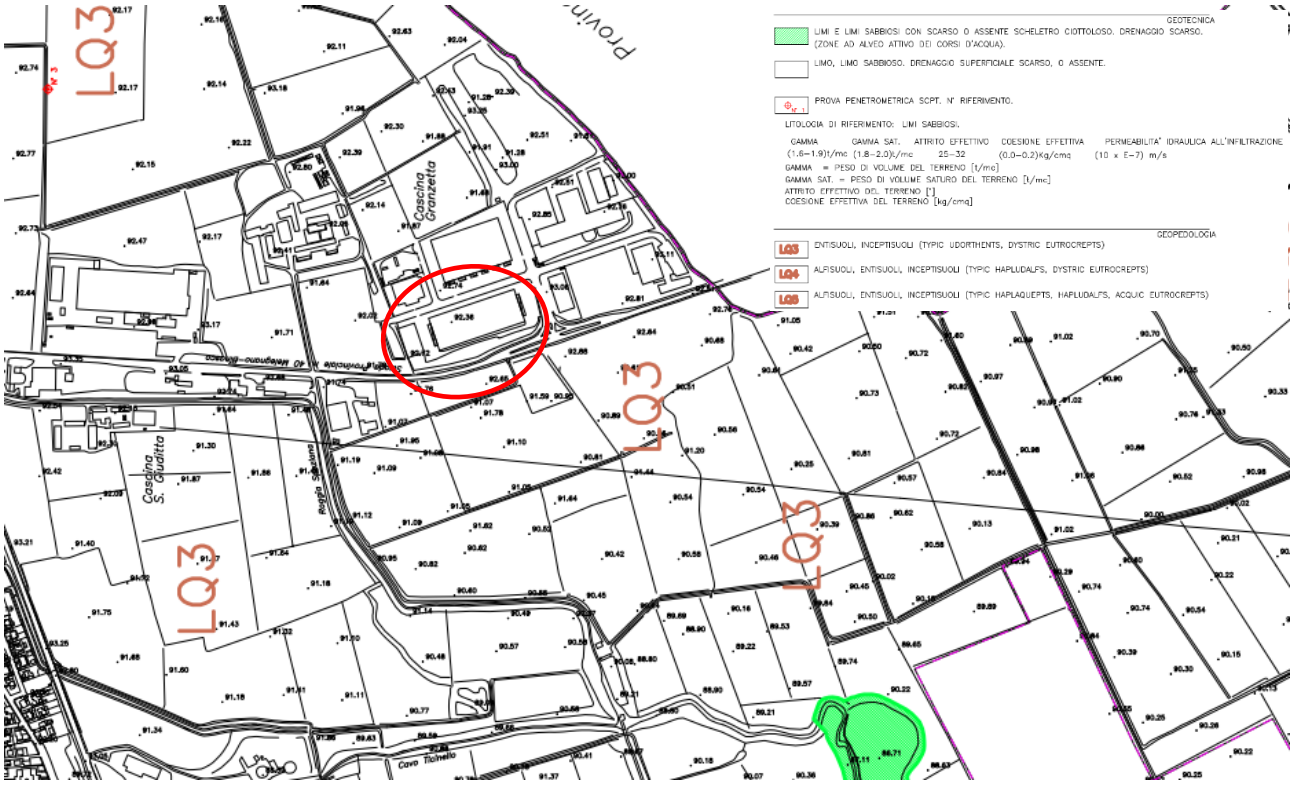


Figura 6: Tav-3 "Carta di caratterizzazione geotecnica, geopedologica" scala 1:5.000 PGT Comune di Siziano.

5 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il modello idrogeologico dell'area di studio è stato ricostruito integrando informazioni stratigrafiche e/o caratterizzazioni idrodinamiche reperite o effettuate dagli autori, relative ad opere di captazione pubbliche e private, con i dati desunti dagli studi idrogeologici più autorevoli e aggiornati relativi agli acquiferi padani della regione Lombardia, di seguito sintetizzati.

Nella schematizzazione idrostratigrafica si è tenuto conto della suddivisione in unità idrostratigrafiche proposta nel 1995 da Avanzini M., Beretta G.P., Francani V. e Nespoli M.2, che prevede, dall'alto verso il basso:

- Unità ghiaioso-sabbiosa, costituita da facies fluviali dell'Olocene-Pleistocene Superiore;
- Unità sabbioso-ghiaiosa, costituita da facies fluviali del Pleistocene Medio;
- Unità a conglomerati e arenarie, costituita da facies fluviali del Pleistocene Inferiore;
- Unità sabbioso-argillosa, costituita da facies continentali e transizionali, riconducibili a Pleistocene Inferiore, al Villafranchiano Superiore e Medio Auctorum p.p.;
- Unità argillosa, costituita da facies marine riconducibili al Pleistocene Inferiore e al Calabriano Auctorum p.p..

Tale suddivisione è stata aggiornata sulla base delle risultanze dello studio Geologia degli Acquiferi Padani della Regione Lombardia, pubblicato nel 2002 dalla Regione Lombardia in collaborazione con Eni-Divisione Agip e del relativo Aggiornamento geologico-stratigrafico (marzo 2005). In tale studio si propone un modello geologico del sottosuolo della pianura a scala regionale, che individua quattro Gruppi Acquiferi sovrapposti (A, B, C e D), delimitati alla base dall'interfaccia acqua dolce / acqua salata, come di seguito riportato:

- *Gruppo Acquifero A* (Olocene, Pleistocene Superiore – Pleistocene Medio); praticamente corrispondente alla suddetta unità ghiaioso-sabbiosa, costituisce la porzione superiore del cosiddetto Acquifero Tradizionale; La conducibilità idraulica di questa unità – *Gruppo Acquifero A* – è compresa tra 10^{-3} e 10^{-4} m/s.
- *Gruppo Acquifero B* (Pleistocene Medio); all'incirca corrispondente all'insieme delle suddette unità sabbioso-ghiaiosa e a conglomerati e arenarie, costituisce la porzione inferiore del cosiddetto Acquifero Tradizionale;
- *Gruppo Acquifero C* (Pleistocene Inferiore [Siciliano ed Emiliano]); corrispondente alla porzione superiore della suddetta unità sabbioso-argillosa;
- *Gruppo Acquifero D (*Pleistocene Inferiore [Santerniano]); corrispondente alla porzione inferiore (Santerniano) della suddetta unità sabbioso-argillosa.

L'assetto idrogeologico comunale appare costituito da più falde idriche, sovrapposte. La struttura idrogeologica è costituita da diverse unità idrogeologiche all'interno delle quali sono ubicati tre probabili acquiferi principali:

1° Acquifero. Si estende da 0 fino a 13-15 m di profondità. Dal punto di vista litologico si hanno ghiaie e sabbie prevalenti con subordinate lenti di limi ed argille. Tra 13-15 m fino a 18-20 m dal piano campagna si trova un livello di argille e sabbie fini. In generale presenta buona continuità laterale con spessori generalmente costanti anche se in alcune perforazioni per pozzi per acqua non è stato rinvenuto.

2° Acquifero. Il livello di falda di quest'acquifero non appare distinto dal primo o presenta caratteristiche semi-artesiane in relazione della posizione dei punti di misura. Presumibilmente questi due primi acquiferi sono in comunicazione in alcuni punti di disomogeneità del setto separatore. Inoltre i due acquiferi, in misura minore, sono messi in comunicazione dalla presenza di pozzi i cui filtri sono posizionati a diverse profondità mettendo così in costante comunicazione le relative acque. Dal punto di vista litologico si hanno sabbie e ghiaie prevalenti con lenti di limi ed argille ad andamento laterale molto discontinuo fino alla profondità di circa 57-60 m.

3° Acquifero. È costituito da una falda di tipo artesiano, in pressione, ubicata in sabbie e ghiaie molto fini.

Più nel dettaglio, in riferimento all'idrogeologia locale, di seguito viene riportata la Tav.2 "Idrogeologica e del reticolo idrografico", in scala 1:5000, contenuta nel PGT del Comune di Siziano.

Secondo tale carta, si desume che l'area in oggetto ricade tra le isopiezometriche 88 ed 89 metri s.l.m., corrispondenti ad una soggiacenza dell'ordine di 3,0-4,0 metri dal piano campagna. A conferma di tale dato la soggiacenza media della falda idrica nell'area, rilevata durante le indagini eseguite, è risultata pari a circa 3,0 metri da p.c.. L'oscillazione del livello della falda è localmente pari a circa ±1,0 m in relazione all'equilibrio dinamico tra l'entità dell'alimentazione della falda (data dalle precipitazioni e dalle pratiche irrigue in agricoltura) e l'estrazione della stessa.

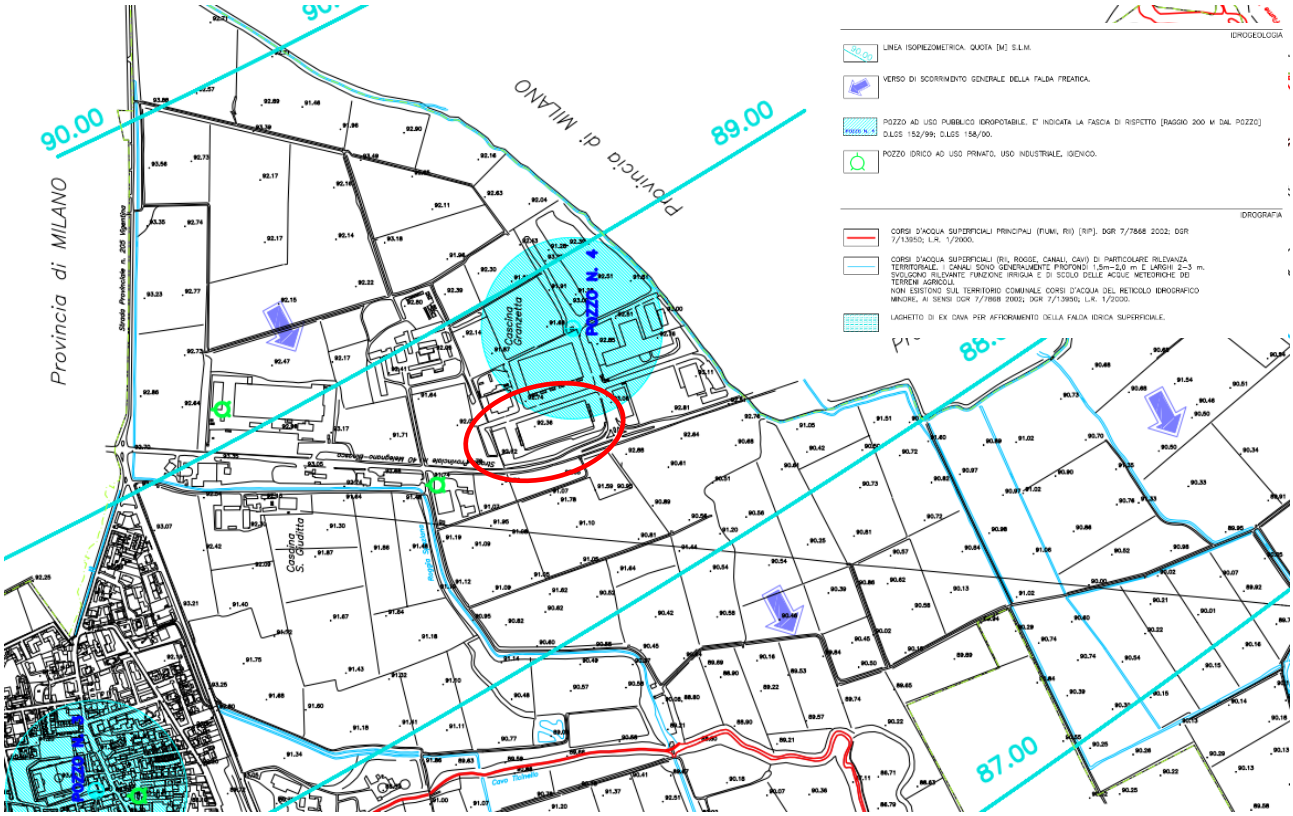


Figura 7: Tav-2 "Idrogeologica e del reticolo idrografico" in scala 1:5000 PGT Comune di Siziano.

Sulla base delle considerazioni descritte, il livello di soggiacenza minimo (minima profondità del livello di falda) raggiungibile nell'area di nuova costruzione, si stima possa essere pari ad un valore minimo di 1,2 metri circa di profondità da p.c.; quindi, il livello di soggiacenza della falda risulta compreso tra 1,2 metri e 3,2 metri circa da piano campagna.

Si sottolinea inoltre, il fatto che a causa delle caratteristiche del sottosuolo costituito da alternanze di livelli permeabili ed impermeabili, non è da escludere che durante i periodi di irrigazione dei fondi agrari o di intense precipitazioni atmosferiche, si possano formare delle falde sospese localizzate.

6 CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il programma di indagine ha comportato le seguenti operazioni:

- n.3 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 30,0m dall'attuale p.c. (S1, S2, PZ1);
  - esecuzione di prove S.P.T. in foro;
  - esecuzione di prove di permeabilità Lefranc in foro;
  - prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
  - installazione di piezometro a tubo aperto in PVC diam.3'' in corrispondenza del foro di sondaggio PZ1;
- n.3 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 10,0m dall'attuale p.c. (PZ2, PZ3, PZ4);
  - installazione di piezometro a tubo aperto in PVC diam.3'' in corrispondenza di tutti i fori di sondaggio;
- n.8 prove penetrometriche statiche C.P.T. (Cone Penetration Test), spinte a profondità di 17,0÷18,2m dall'attuale p.c. (P1÷P8);
- n.1 stendimento sismico M.A.S.W. della lunghezza di complessiva di 60m;
- n.1 rilevazione puntuale del microtremore sismico ambientale della durata di 20 minuti;
- prove geotecniche di laboratorio sui campioni di terreno prelevati:
  - determinazione del peso di volume;
  - analisi granulometriche per vagliatura e sedimentazione;
  - determinazione dei limiti di Atterberg;
  - prova triassiale CIU;
  - prove di taglio diretto;
  - prove di consolidazione edometrica.

Figura 8: Ortofoto con ubicazione indagini geognostiche.

Di seguito si illustrano i dettagli e le modalità esecutive delle indagini; in allegato sono riportate le stratigrafie dei sondaggi unitamente alla documentazione fotografica ed alle risultanze delle prove di permeabilità, delle prove penetrometriche e dello stendimento sismico M.A.S.W..

6.1 SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

È stata impiegata una sonda perforatrice idraulica Beretta modello T44 allestita su carro cingolato e dotata dei seguenti requisiti tecnici essenziali:

- Forza max. tiro 40 kN;
- Forza max. spinta 40 kN;
- Coppia max. 102 daNm;
- Velocità di rotazione 45÷350 r/min.

La sonda è corredata di martello pneumatico sulla testa di rotazione e di pompa Triplex dotata di circuito supplementare per il rabbocco del fluido a testa foro.

Le perforazioni sono state condotte a carotaggio continuo con l'utilizzo di carotiere semplice avente diametro 101 mm tale da rendere minimo il disturbo dei materiali attraversati e da consentire il prelievo dei campioni rappresentativi (carote). Essa è stata eseguita, compatibilmente con la natura dei terreni attraversati, senza l'utilizzo di fluidi di circolazione (carotaggio a secco).

Per il sostegno delle pareti del foro, sono stati impiegati rivestimenti provvisori consistenti in tubi di acciaio speciale filettati della lunghezza di 1.0÷1.5 m e del diametro di 127 mm. Durante le operazioni di posa del rivestimento provvisorio si è reso necessario l'impiego di fluidi di perforazione per il raffreddamento del tagliente (scarpa) e l'asportazione del detrito: a tale scopo si è impiegata circolazione diretta di acqua chiara.

Nel corso della perforazione si è provveduto a:

- Esecuzione di prove a resistenza meccanica S.P.T.;
- Prelievo di campioni indisturbati tipo Shelby;
- Prelievo di campioni rimaneggiati.

I sondaggi sono stati descritti in appositi moduli stratigrafici in cui si sono indicate, in funzione della profondità:

- Rappresentazione stratigrafica e descrizione dei terreni attraversati, spessore delle alternanze litologiche, colore delle formazioni, composizione granulometrica approssimata e frazione fine prevalente;
- Quota di esecuzione delle prove S.P.T. e relativi valori riscontrati;
- Quota di prelievo dei campioni indisturbati e rimaneggiati;
- Schema installazione tubazione piezometrica.

I materiali estratti dai carotieri sono stati collocati in apposite cassette catalogatrici in PVC, adatte a contenere 5 metri di carote, sulle quali sono stati annotati l'identificazione del punto di sondaggio, la relativa profondità, la località e l'identificazione del committente; esse sono state quindi analizzate a vista per la redazione della stratigrafia e infine fotografate. Le cassette contenenti i campioni di terreno estratti durante i carotaggi sono ricoverate presso le aree di cantiere.

6.1.1 PROVE DI RESISTENZA MECCANICA S.P.T.

La prova consiste nell'infissione a percussione di un tubo campionatore a parete grossa tipo Raymond, avente diametro esterno 51 mm e diametro interno 34.9 mm, collegato alla superficie con aste di diametro di 51 mm. Il dispositivo di percussione a sganciamento automatico è costituito da un maglio di 63.5 Kg con una altezza di caduta di 760 mm. Solo localmente, in base alla granulometria dei terreni riscontrati in fase di perforazione, al tubo campionatore era applicata la specifica punta chiusa, ∅ 50mm, conicità 60°.

Il campionatore viene fatto penetrare nel terreno per una profondità pari a 45 cm, a partire dalla quota di fondo foro, rilevando il numero di colpi (N) necessari per l'avanzamento di ciascun intervallo di 15 cm. Il valore di N_{SPT} è ottenuto sommando i colpi necessari all'avanzamento del 2° e 3° intervallo. La prova viene interrotta quando il numero di colpi N, per un intervallo di 15 cm, supera il valore di 50, annotando in tal caso il rifiuto alla penetrazione e registrando l'infissione in cm ottenuta con 50 colpi.

I valori di N ottenuti devono quindi essere normalizzati secondo la seguente espressione:

$$N_{60} = N_{S.P.T.} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_R$$

dove:

$N_{S.P.T.}$ = numero di colpi per l'affondamento di 30cm misurato nella prova

C_E = correzione per il rapporto di energia (rendimento sistema di battitura/60)

C_B = correzione per il diametro del foro (1.0 per Ø65÷115mm)

C_S = correzione per il metodo di campionamento (1.0 per campionatore standard)

C_R = correzione per la lunghezza delle aste (0.75 se L=3÷4m; 0.85 se L=4÷6m; 0.95 se L=6÷10m; 1.0 se L>10m)

Inoltre, per tenere conto dell'influenza della pressione verticale del terreno sovrastante, deve essere utilizzata la formula: $N_{(1)60} = C_N \cdot N_{60}$ con $C_N = \sqrt{\frac{98,1}{\sigma'_v}}$

6.1.2 PROVE DI PERMEABILITÀ LEFRANC

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite n.4 prove di permeabilità di tipo Lefranc a carico variabile.

Le operazioni di predisposizione della prova hanno comportato la pulizia del fondo foro da eventuali detriti della perforazione e quindi il riempimento della colonna di rivestimento con acqua pulita. Una volta raggiunta la saturazione del materiale presente a fondo foro, sono state effettuate misurazioni dell'abbassamento del livello indotto, ad intervalli di tempo regolari, fino ad un massimo di 30 minuti.

Il valore della permeabilità è stato poi ricavato attraverso la relazione:

$$k = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot Cl \cdot \Delta t} \ln \frac{h_{in}}{h_{fin}}$$

dove:

d= diametro interno del tubo di rivestimento;

Cl= l per l>d;

l= tratto di foro non rivestito;

Δt= durata totale prova;

h_{in}= altezza di carico ad inizio prova;

h_{fin}= altezza di carico a fine prova.

6.1.3 CAMPIONI INDISTURBATI

Durante le fasi di perforazione sono stati prelevati campioni di terreno indisturbati destinati alle successive prove di laboratorio, utili alla caratterizzazione fisico-meccanica e geotecnica dei materiali.

I prelievi sono stati effettuati per mezzo di un tubo campionatore tipo “Shelby”, diametro 85 mm, in acciaio inossidabile dello spessore 2mm, con lunghezza 60÷65 cm, infisso a pressione costante con velocità compresa tra 15 e 30 cm/sec direttamente trasmessa dalla batteria di aste; tale campionatore è idoneo a raggiungere qualità Q5 in presenza di argille da mediamente a molto compatte.

Al termine dell’infissione i campionatori sono stati ripuliti delle parti detritiche presenti alle estremità, sigillati con paraffina liquida, etichettati e consegnati al laboratorio di analisi C.G.G. S.r.l. con sede a Piacenza (PC).

6.1.4 CAMPIONI RIMANEGGIATI

I campioni rimaneggiati sono rappresentativi della granulometria e del materiale prelevato. Sono stati selezionati dalle carote nella fase di sistemazione delle stesse nelle cassette catalogatrici, sigillati in sacchetti di plastica trasparente, etichettati e consegnati al laboratorio di analisi C.G.G. S.r.l. con sede a Piacenza (PC).

6.1.5 PIEZOMETRI A TUBO APERTO

I piezometri allestiti all’interno delle perforazioni S1-PZ1 PZ2, PZ3 e PZ4 sono costituiti da tubo in P.V.C. atossico fornito dalla Fimap Technologies S.r.l. di San Benedetto Po (MN); essi sono composti da tubazione Ø3” cieca fino a -3m da p.c. e microfessurata da tale quota fino a fondo foro (-30m per S1-PZ1 e -10m per PZ2, PZ3 e PZ4); i tubi sono dotati sia alla base che nella parte sommitale di tappo avvitato.

All’esterno dei tubi è stato posato un manto drenante, costituito da ghiaietto lavato Ø3÷5 mm, dal fondo fino a circa un metro al di sopra del tratto microfessurato.

La parte superiore di ogni piezometro è isolata da tampone in cemento/bentonite al fine di evitare l’infiltrazione di acque superficiali; alla sommità dei piezometri sono stati collocati chiusini carrabili e chiusini in lamiera preverniciata di colore rosso.

6.2 PROVE PENETROMETRICHE C.P.T.

Per l'acquisizione dei dati è stato impiegato un penetrometro semovente statico-dinamico PAGANI modello TG 63-150, dotato di opportuni elicoidi di ancoraggio e punta meccanica Begemann per le prove statiche e di sgancio automatico per le prove dinamiche.

L'esecuzione delle prove statiche ha comportato la verifica ad intervalli regolari di 20 cm della resistenza in Kg/cm^2 opposta dal terreno all'avanzamento dell'apposita punta meccanica Begemann (R_p) e del relativo manicotto laterale (R_l) per mezzo del dispositivo Friction Jacket Cone. Dall'analisi di R_p/R_l è possibile effettuare una valutazione indicativa della litologia dei terreni attraversati e definire la granulometria (Begemann 1965- Schmertmann 1969).

Le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura in modalità statica sono le seguenti:

Forza di infissione	*150 kN*
Velocità di infissione	*2 $\pm$0.5 cm/sec*
Superficie della punta	*10 cm^2*
Diametro della punta	*35.7 mm, con conicità 60°*
Altezza manicotto laterale	*13.3 mm*
Superficie del manicotto	*150 cm^2*
Diametro delle aste	*36 mm*
Passo di lettura	*20 cm*

I risultati riscontrati in campagna vengono visualizzati attraverso grafici che riportano per ogni verticale di prova:

- la resistenza alla punta (R_p) in Kg/cm^2;
- la somma della resistenza alla punta (R_p) e di attrito laterale (R_l) in Kg/cm^2;
- il rapporto delle resistenze R_p/ R_l (adimensionale).

6.3 PROVA MASW

L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi modello Gea 24 con possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno automatico del segnale (in ampiezza).
Sono stati utilizzati n.12 geofoni verticali da 4.5 Hz spaziati di 5m con offset a 5m di distanza dal primo geofono, l'energizzazione è avvenuta tramite mazza del peso di 10 Kg.
Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (M.A.S.W.), il dataset è stato ottenuto mediante le seguenti modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

  - n.12 geofoni verticali da 4.5 Hz

  - Energizzazione verticale su piastra quadrata in lega di alluminio

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW 3C 7.2 beta e nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF). Una volta individuato il dataset da utilizzare è stato determinato lo spettro di velocità e successivamente è stata effettuata la modellazione.

È necessario sottolineare che l'interpretazione delle indagini geofisiche viene fatta nell'ipotesi che gli strati del sottosuolo siano omogenei, orizzontali e con superfici di separazione piano parallele. Si rammenta infine come, in ogni caso, la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira attorno al 10-15%.

6.4 PROVA H.V.S.R.

Si tratta di una metodologia sismica passiva, finalizzata alla determinazione dei valori di frequenza caratteristica del sito e del suolo al fine di verificare che non vi siano eventuali effetti di doppia risonanza, che potrebbero inficiare sulla stabilità delle strutture.

Nel contempo la misurazione effettuata sul terreno ha permesso di verificare la presenza di eventuali orizzonti rifrattori più profondi rispetto alla massima profondità indagata con la sismica attiva.

La misurazione è stata eseguita mediante l'utilizzo di un geofono triassiale digitale 3D PASI, modello Gemini ed i dati sono stati rielaborati tramite software WinMASW 3C 7.2 beta.

Tale indagine geofisica si avvale della tecnica di Nakamura (1989) e sui rapporti spettrali H.V.S.R. (Horizzontal to Vertical Spectral Ratio); viene misurato il microtremore sismico ambientale (rumore sismico) presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Per poter effettuare tale misurazione lo strumento racchiude tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con frequenza naturale di risonanza 2.0 Hz.

I dati vengono registrati su pc collegato alla strumentazione. Durante la misura si è orientata una delle componenti orizzontali parallelamente alla direzione dello stendimento sismico, per consentire una eventuale ripetizione e sovrapposizione delle registrazioni in tempi successivi.

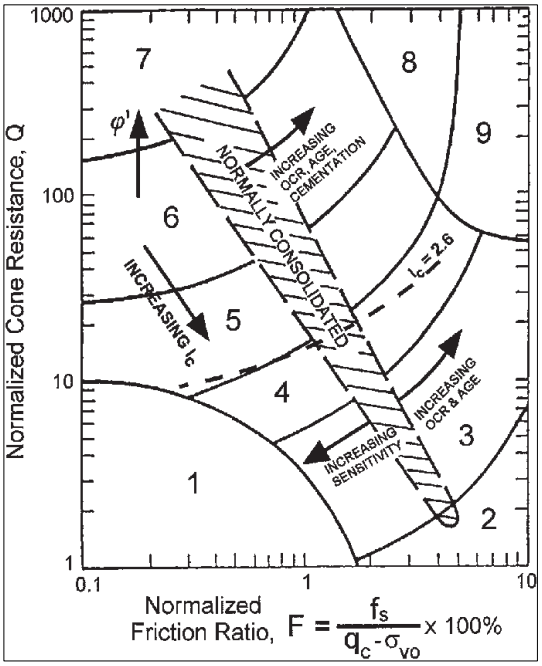
Operativamente si è proceduto alla registrazione del rumore sismico sulle tre componenti per un intervallo di tempo di 20 minuti

7 MODALITÀ DI INTERPRETAZIONE DELLE PROVE GEOTECNICHE IN SITO

7.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE C.P.T.

L'analisi dei risultati delle prove C.P.T. consente la ricostruzione del terreno attraverso le correlazioni tra resistenza alla penetrazione e litologie indagate, come mostrato nei seguenti grafici, sfruttando i criteri illustrati da Robertson & Campanella (1990) e Schmertmann.

I parametri sono condizionati dalla risposta meccanica dei materiali alla penetrazione.



1. SENSITIVE, FINE GRADED	6. SANDS - CLEAN SAND TO SILTY SAND
2. ORGANIC SOILS - PEATS	7. GRAVELLY SAND TO SAND
3. CLAYS - CLAY TO SILTY CLAY	8. VERY STIFF SAND TO CLAYEY SAND
4. SILT MIXTURES - CLAYEY SILT TO SILTY CLAY	9. VERY STIFF, FINE GRADED
5. SAND MIXTURES - SILTY SAND TO SANDY SILT	

Figura 9: Interpretazione delle litologie dei terreni attraverso I risultati di prove CPT, Robertson & Campanella (1990).

7.1.1 MODULO ELASTICO (E) DA C.P.T.

Per il calcolo del modulo elastico in terreni coesivi è stata utilizzata la seguente formula:

$$E = M \cdot \frac{(1 - 2 \cdot \nu) \cdot (1 + \nu)}{(1 - \nu)}$$

Per i terreni incoerenti, quindi relativi alle sabbie, i dati raccolti durante l'esecuzione dei test C.P.T., sono stati analizzati con la seguente formula per i terreni granulari (Kulhawy):

$$\mathrm{E} = \mathrm{q_c} \cdot 10^{(1.09 - 0.0075 \cdot \mathrm{D_r})} / 1.15$$

7.1.2 ANGOLO D'ATTRITO (Φ') DA C.P.T.

La seguente formula è stata utilizzata per determinare l'angolo di attrito:

$$\varphi' = \max\{10.625 \cdot \frac{D_R}{100} + 25.795 \, , \varphi'_{cv} \}$$

dove:

D_R è la densità relativa

ϕ'_{cv} è l'angolo di attrito a volume costante =24°

7.2 PROVE DI RESISTENZA MECCANICA S.P.T.

I risultati ottenuti in campo sono stati corretti con le formulazioni di Gibbs e Holtz, che tengono conto degli effetti della pressione, del diametro di perforazione e della lunghezza delle aste di perforazione. La relazione è la seguente:

per N<15 $N' = N_{SPT}$

per N≥15 $N' = 15+1/2(N_{SPT}-15)$

È necessario tenere in conto anche dell'efficienza del dispositivo di perforazione, riducendo il valore di N_{SPT} con la seguente correlazione:

$N1(60) = Cn \cdot N_{SPT}$

dove:

$$Cn = \frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{100}}$$

L'efficienza del sistema di battitura è stata assunta pari al 60%.

7.2.1 DENSITÀ RELATIVA (D_R) DA S.P.T.

Partendo dai valori di N_{SPT} è possibile valutare i valori di densità relativa con la seguente formula:

$D_r = \sqrt{\frac{C_N \cdot N_{SPT}}{60}}$ (Skempton, 1986)

7.2.2 MODULO ELASTICO (E) DA S.P.T.

Utilizzando i parametri valutati precedentemente, è stato calcolato il modulo elastico utilizzando la seguente formula:

$E_{25'} = (52{,}5 - 35 \cdot D_R) \cdot N_{SPT}$ →in kg/cmq Jamiolkowsky et al. 1988 per terreni OC

7.2.3 ANGOLO D'ATTRITO (Φ') DA S.P.T.

Utilizzando i parametri valutati precedentemente, l'angolo di resistenza al taglio ϕ' di picco del terreno è stato calcolato utilizzando la seguente formula:

$\phi' = 15 + [20 \cdot N_{1(60)}]^{0.5}$ Owasaki e Iwasaki

8 RISULTATI DELLE PROVE GEOTECNICHE IN SITO

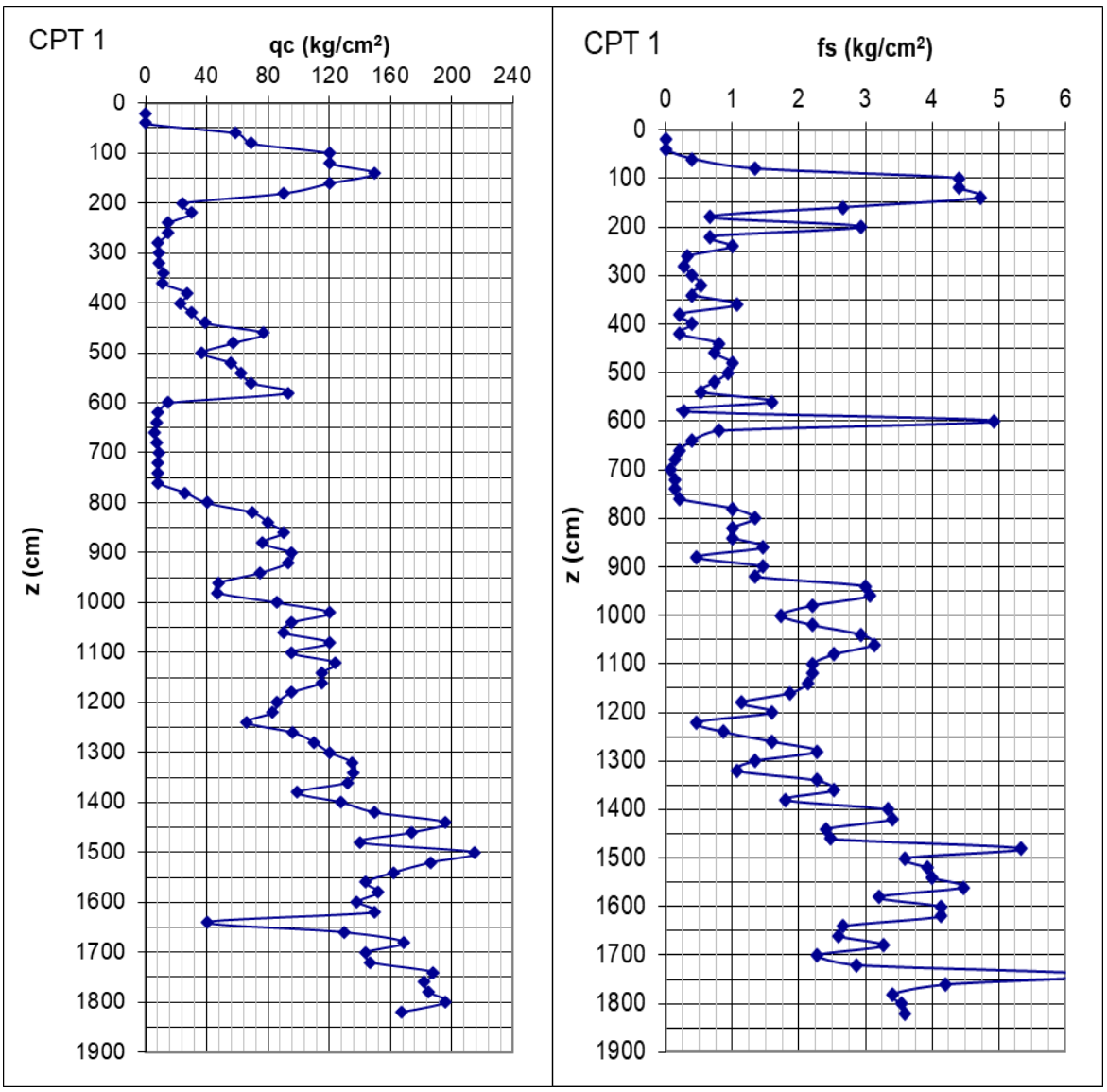
Di seguito vengono riportate le elaborazioni dei dati di sito delle prove geognostiche eseguite nell'area di interesse.

8.1 RISULTATI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE C.P.T.

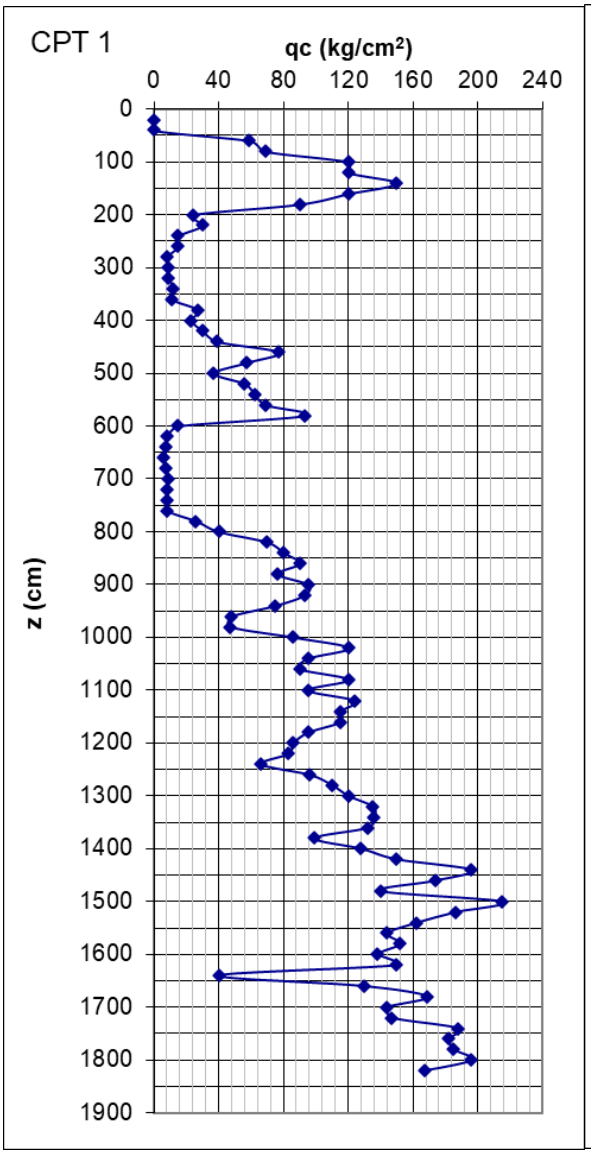
Di seguito, si riportano i risultati ottenuti dalle prove C.P.T.

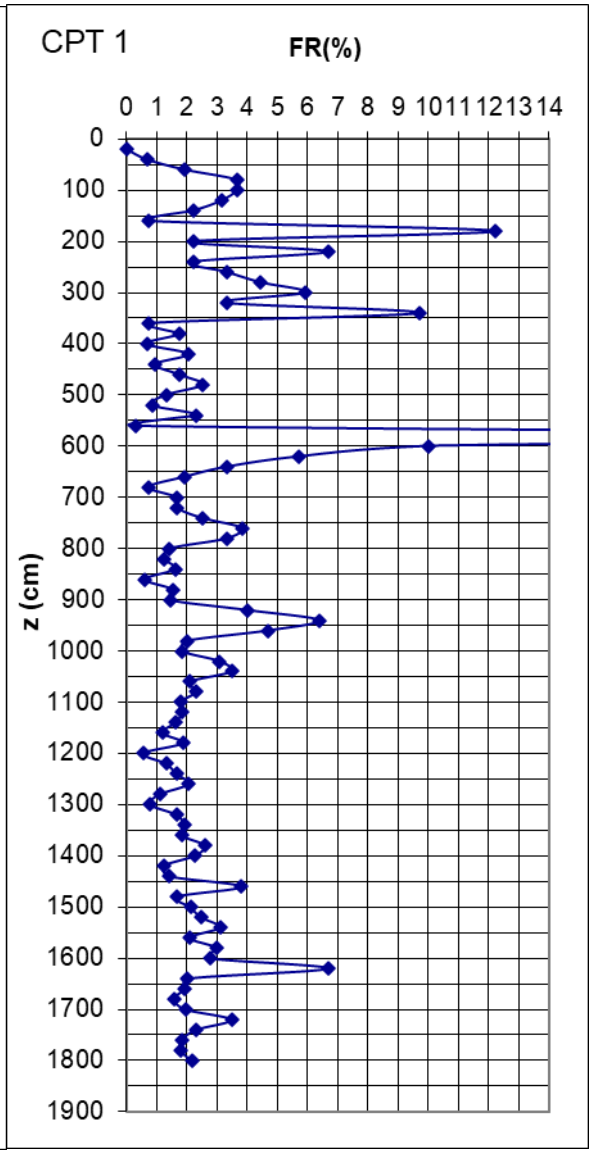
8.1.1 C.P.T. 1

C.P.T. 1 - QC/Fs

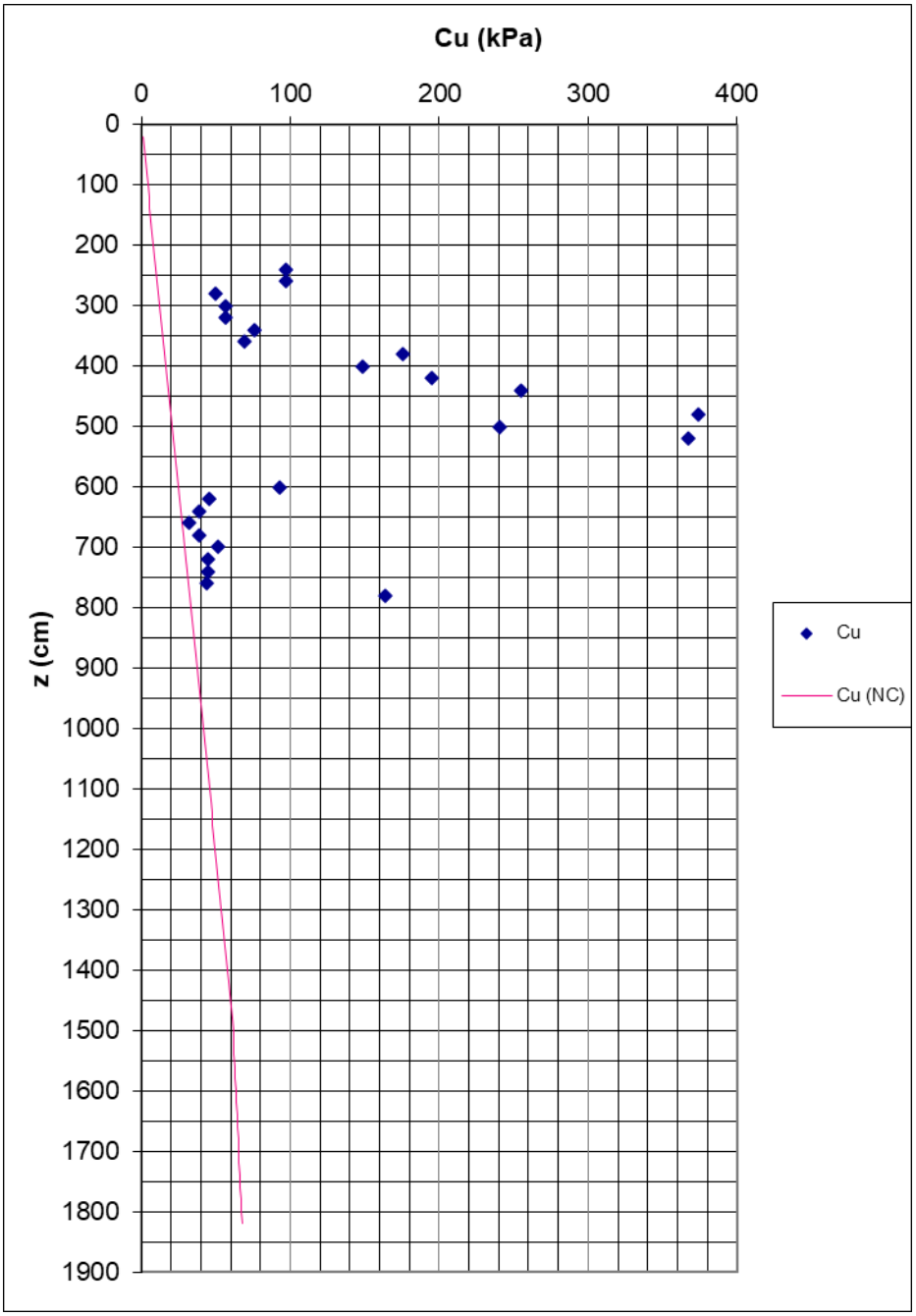


C.P.T. 1 - QC/Fr

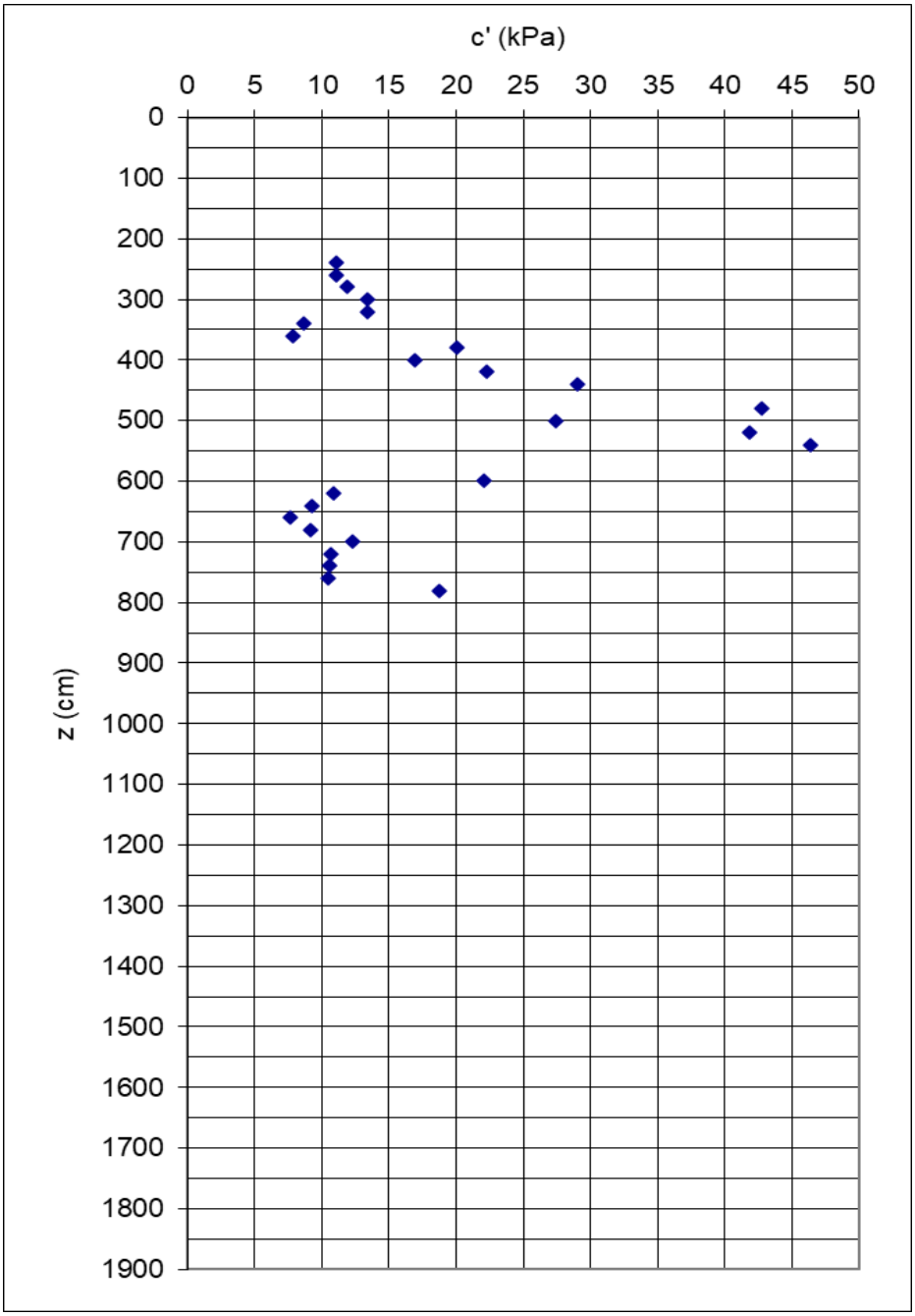

CPT 1
qc (kg/cm²)
0 40 80 120 160 200 240
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900


CPT 1
FR(%)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900

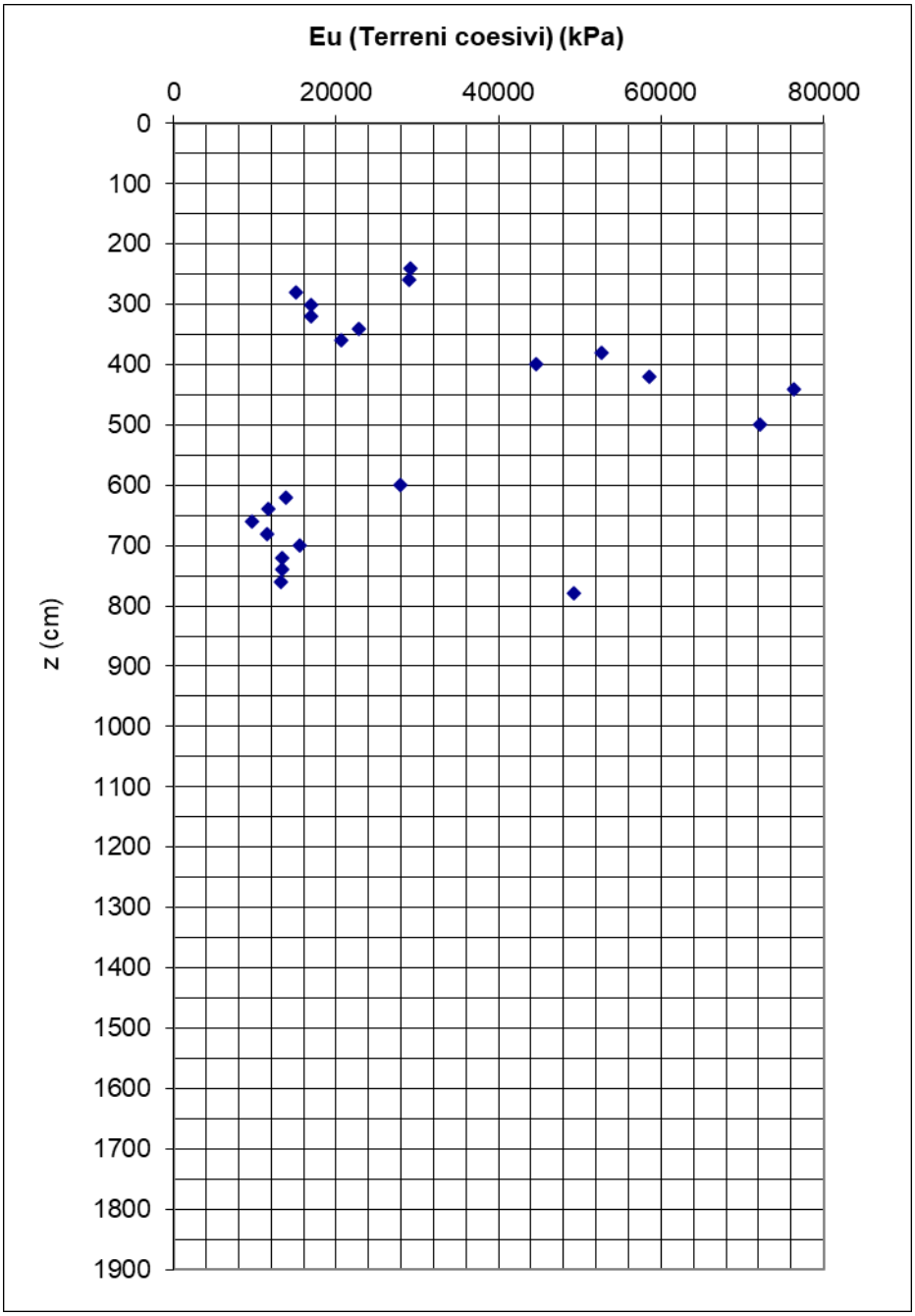
C.P.T. 1 – COESIONE NON DRENATA Cu



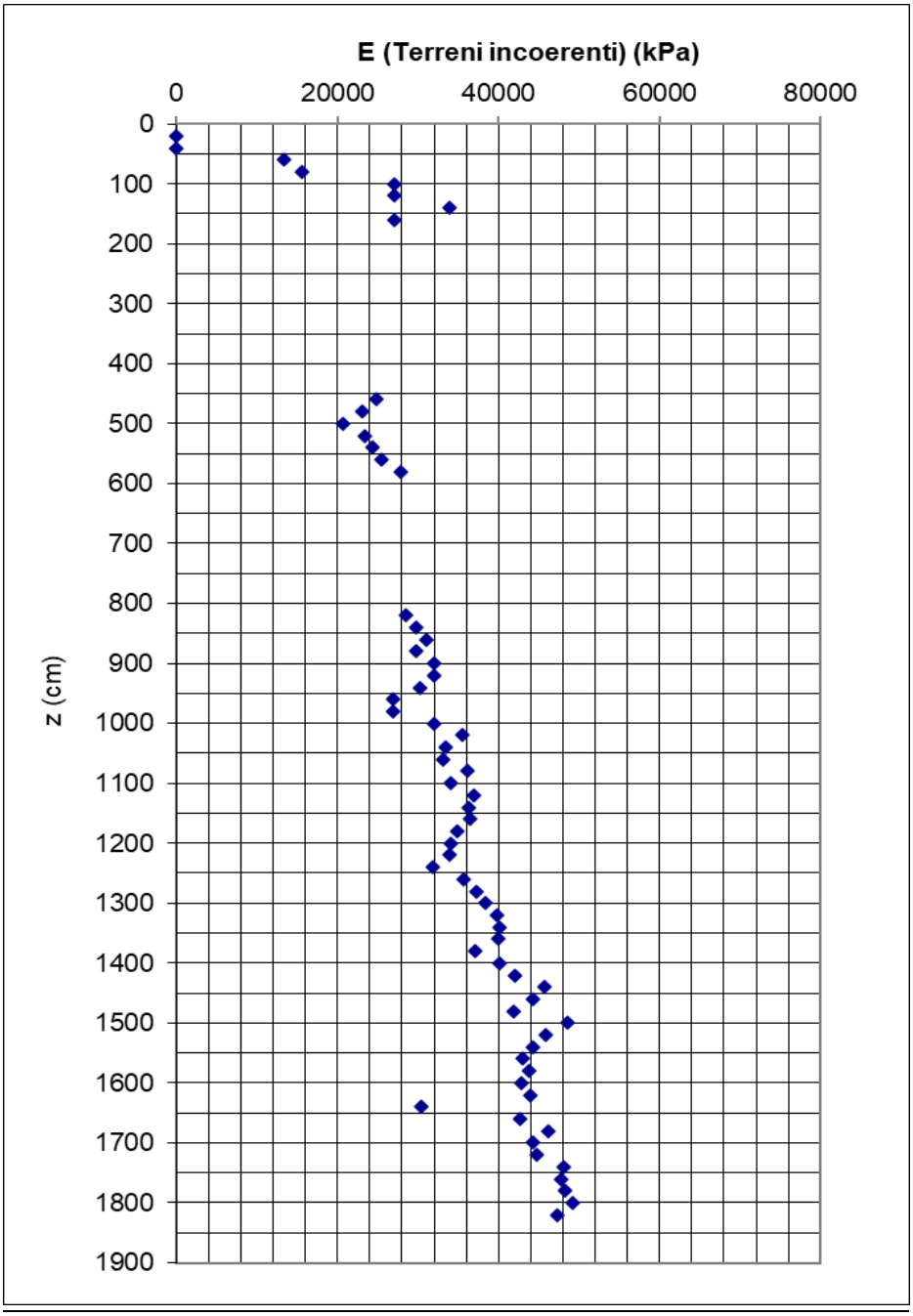
C.P.T. 1 – COESIONE EFFICACE C'



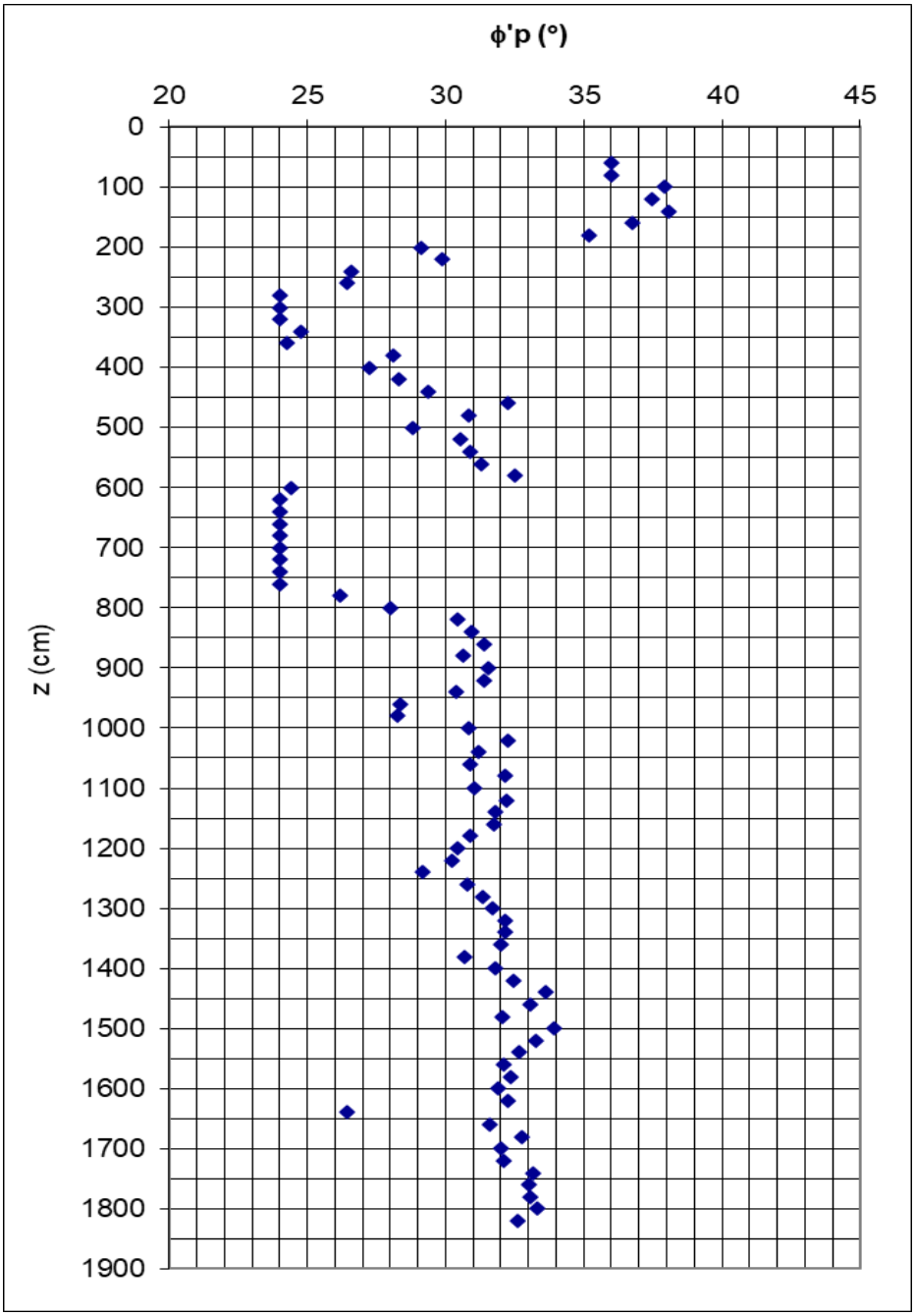
C.P.T. 1 – MODULO ELASTICO NON DRENATO Eu



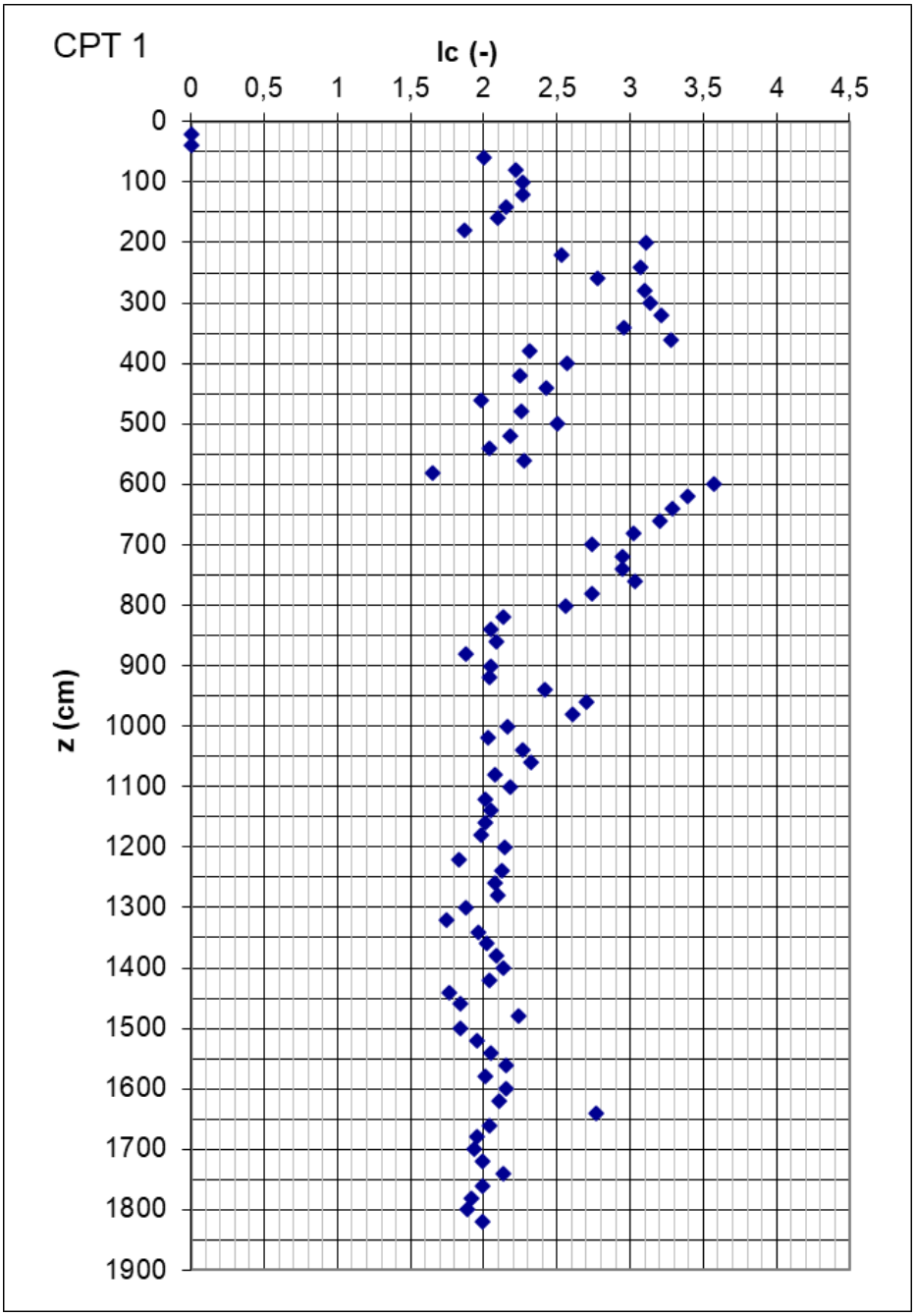
C.P.T. 1 - MODULO ELASTICO E



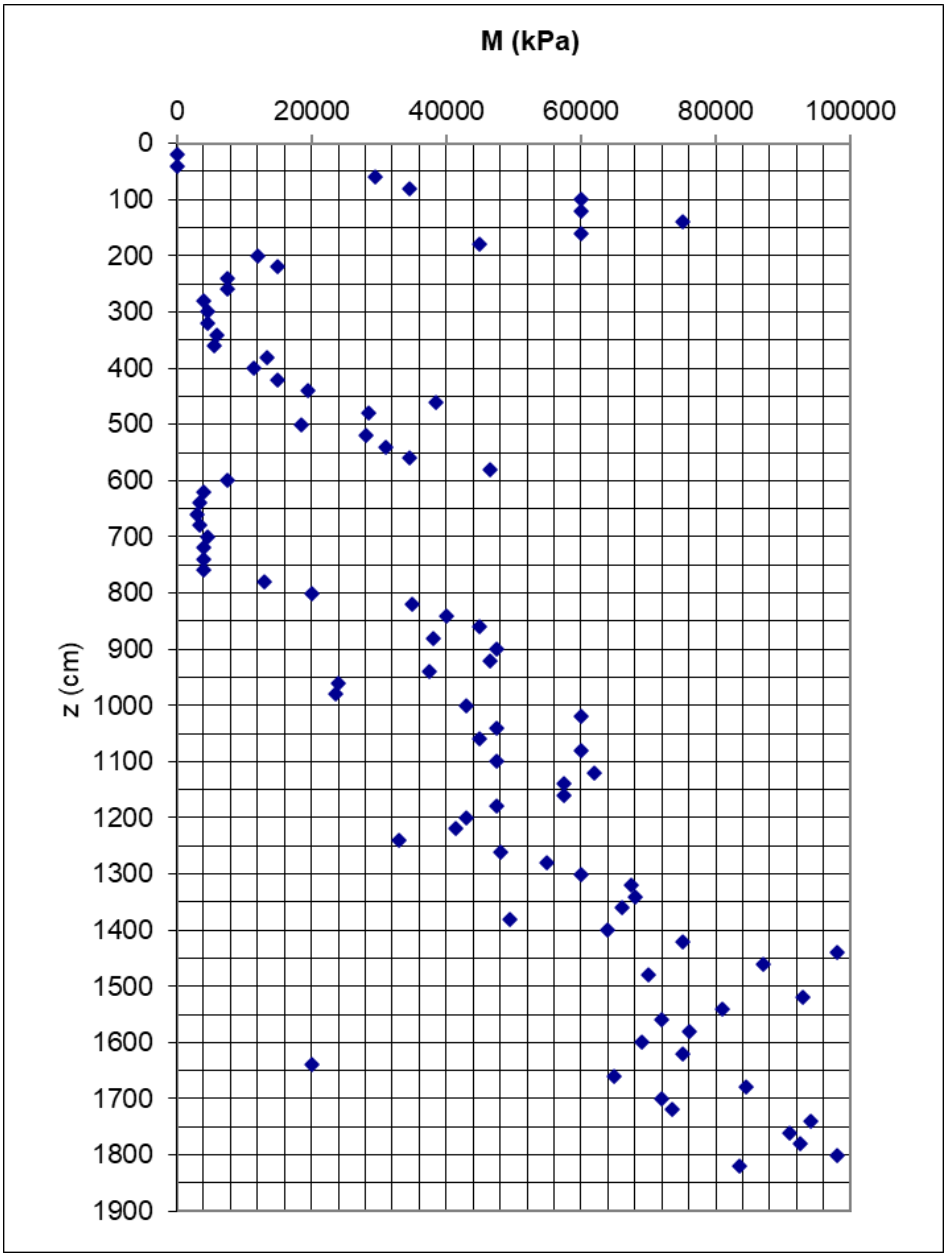
C.P.T. 1 - ANGOLO D'ATTRITO



C.P.T. 1 – INDICE DI COMPORTAMENTO DEL TERRENO Ic

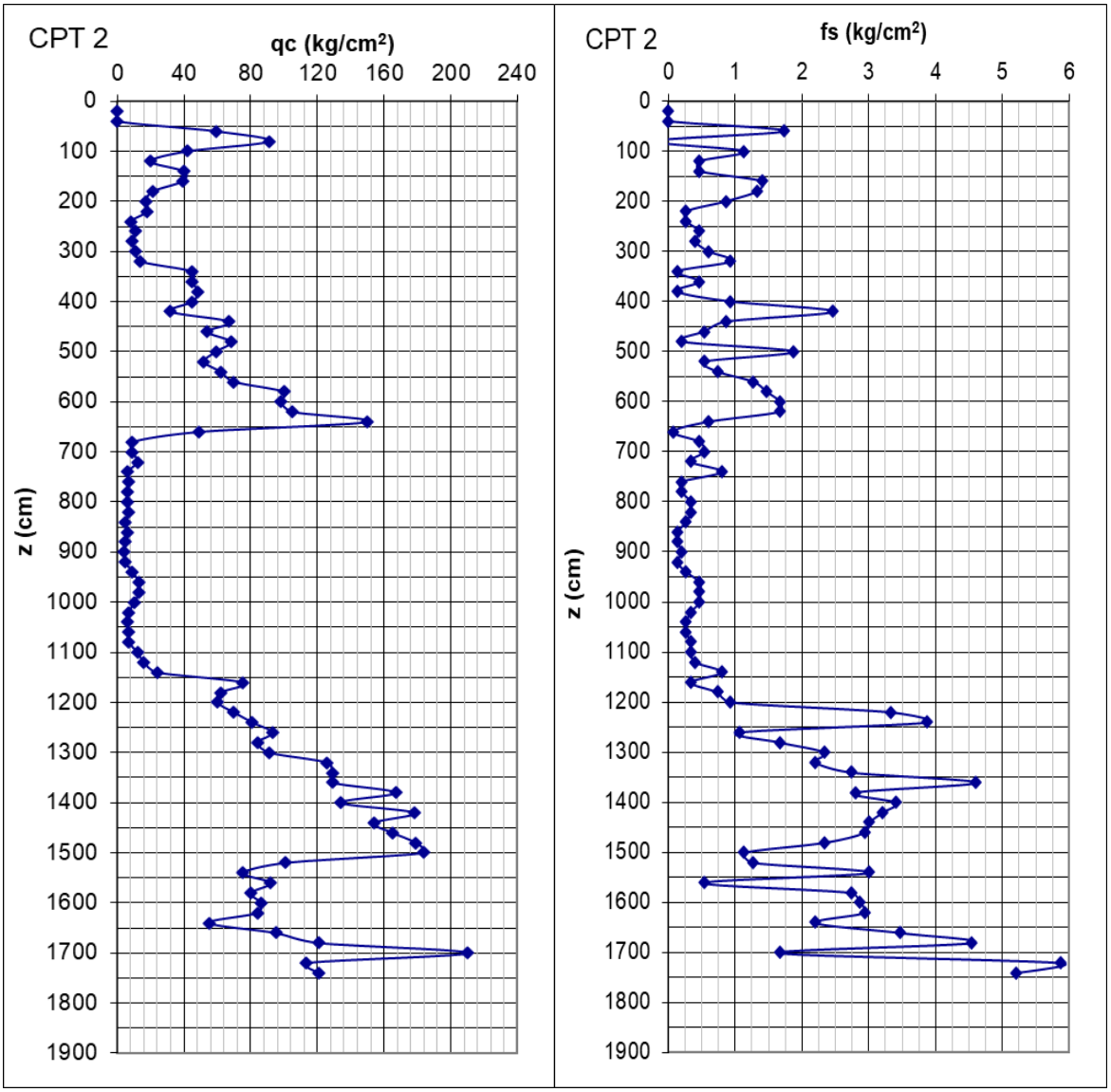


C.P.T. 1 – MODULO DI CONFINAMENTO M

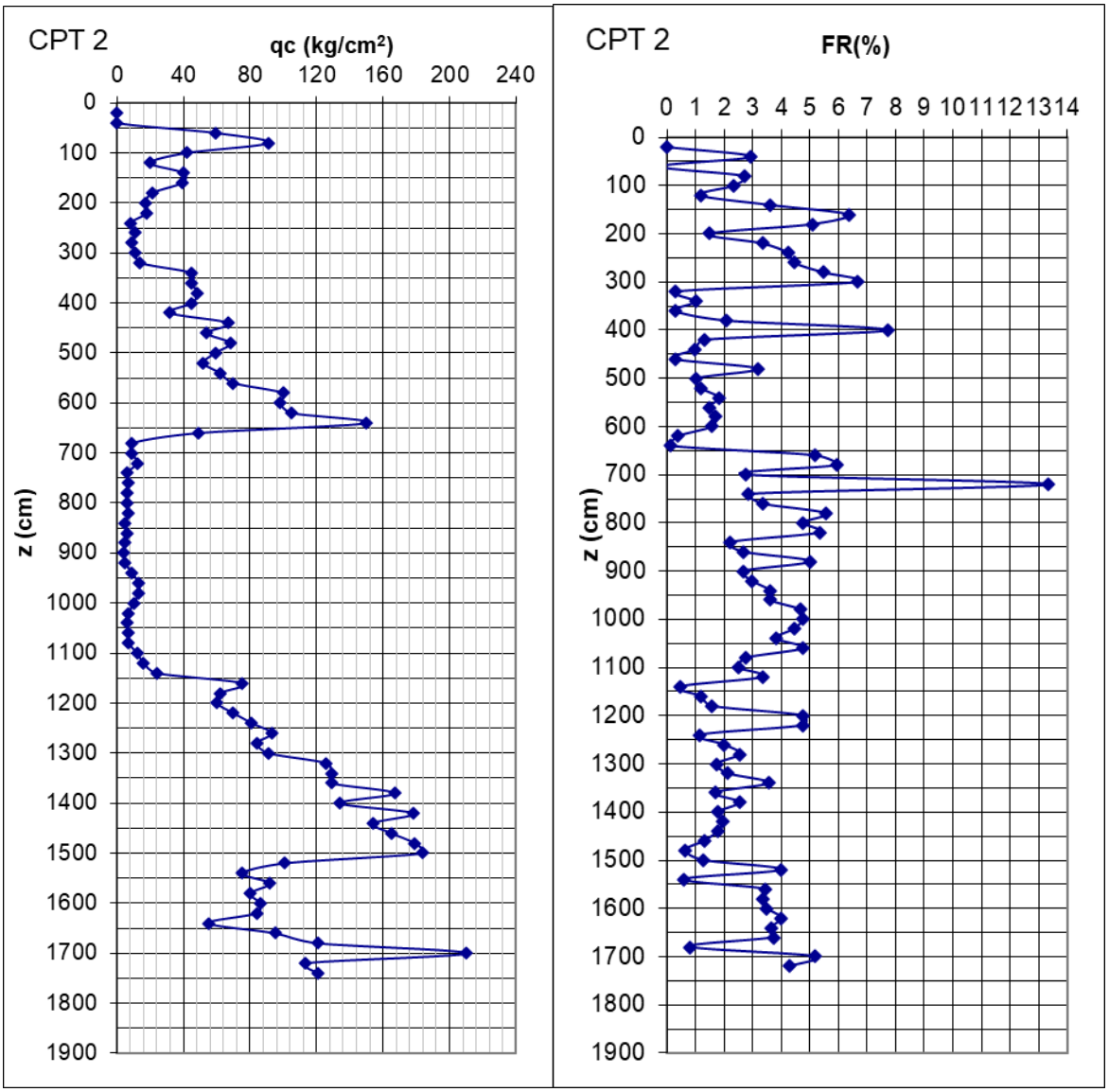


8.1.2 C.P.T. 2

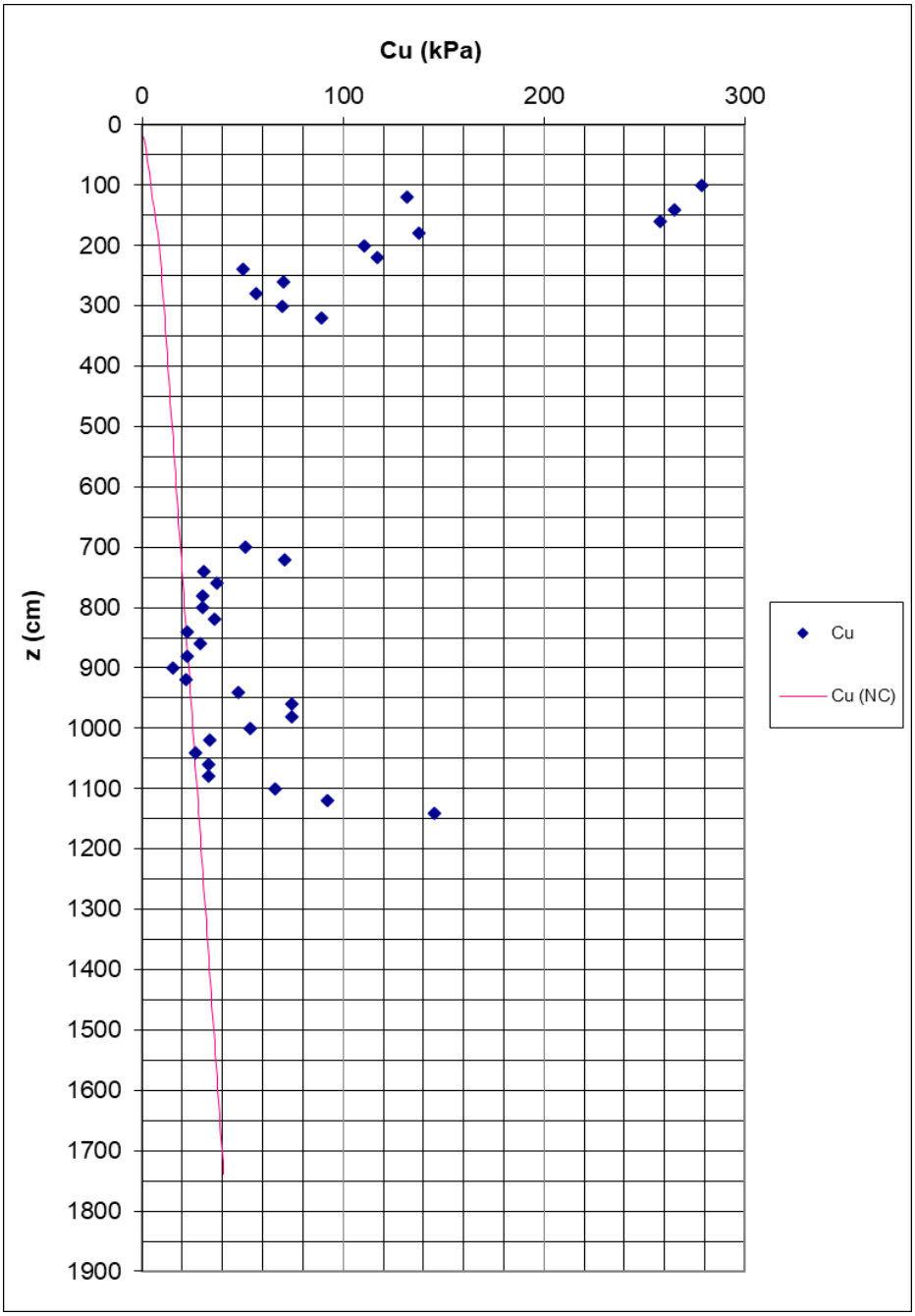
C.P.T. 2 - QC/Fs



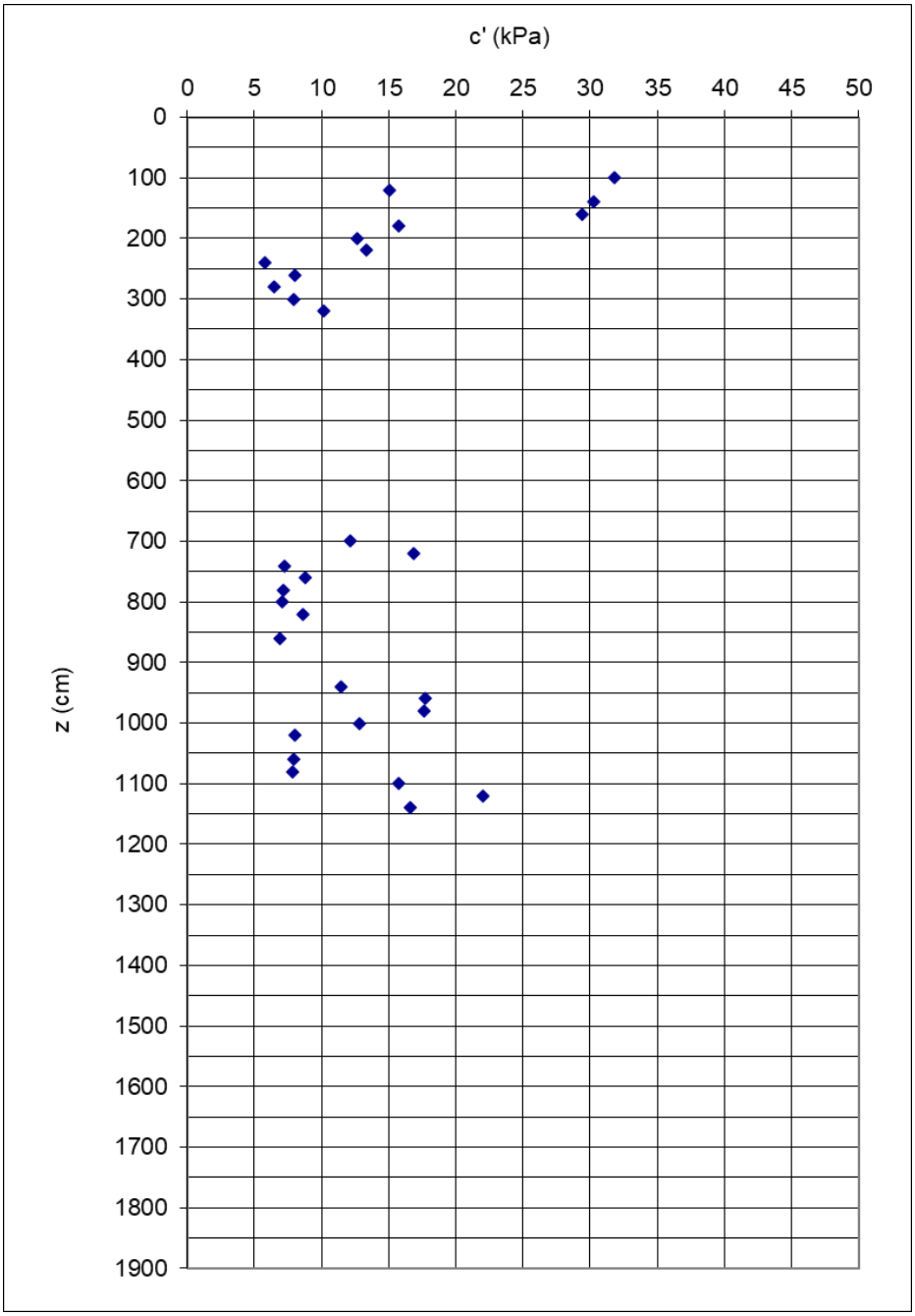
C.P.T. 2 - QC/Fr


CPT 2
qc (kg/cm²)
0 40 80 120 160 200 240
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900
CPT 2
FR(%)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900

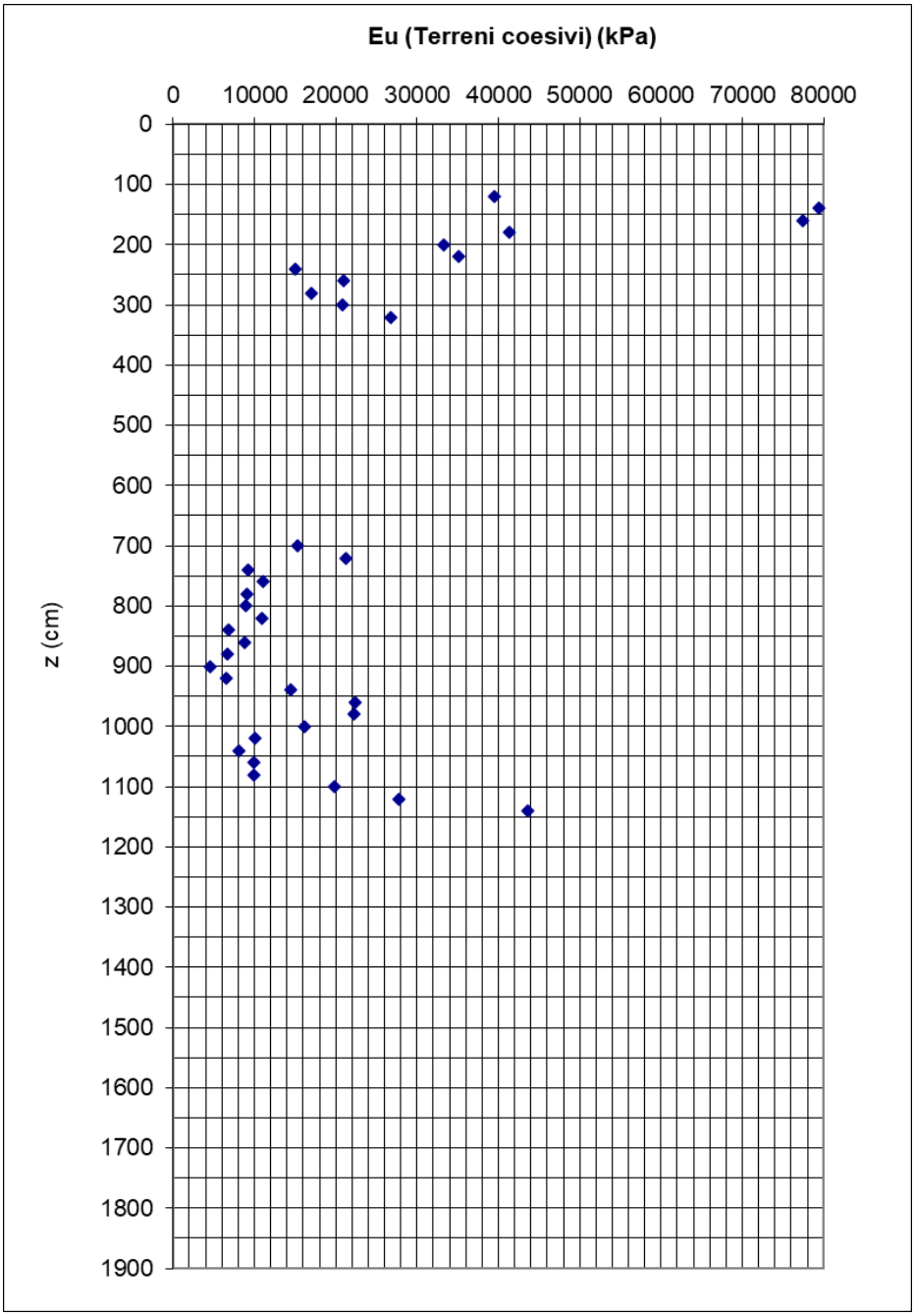
C.P.T. 2 – COESIONE NON DRENATA Cu



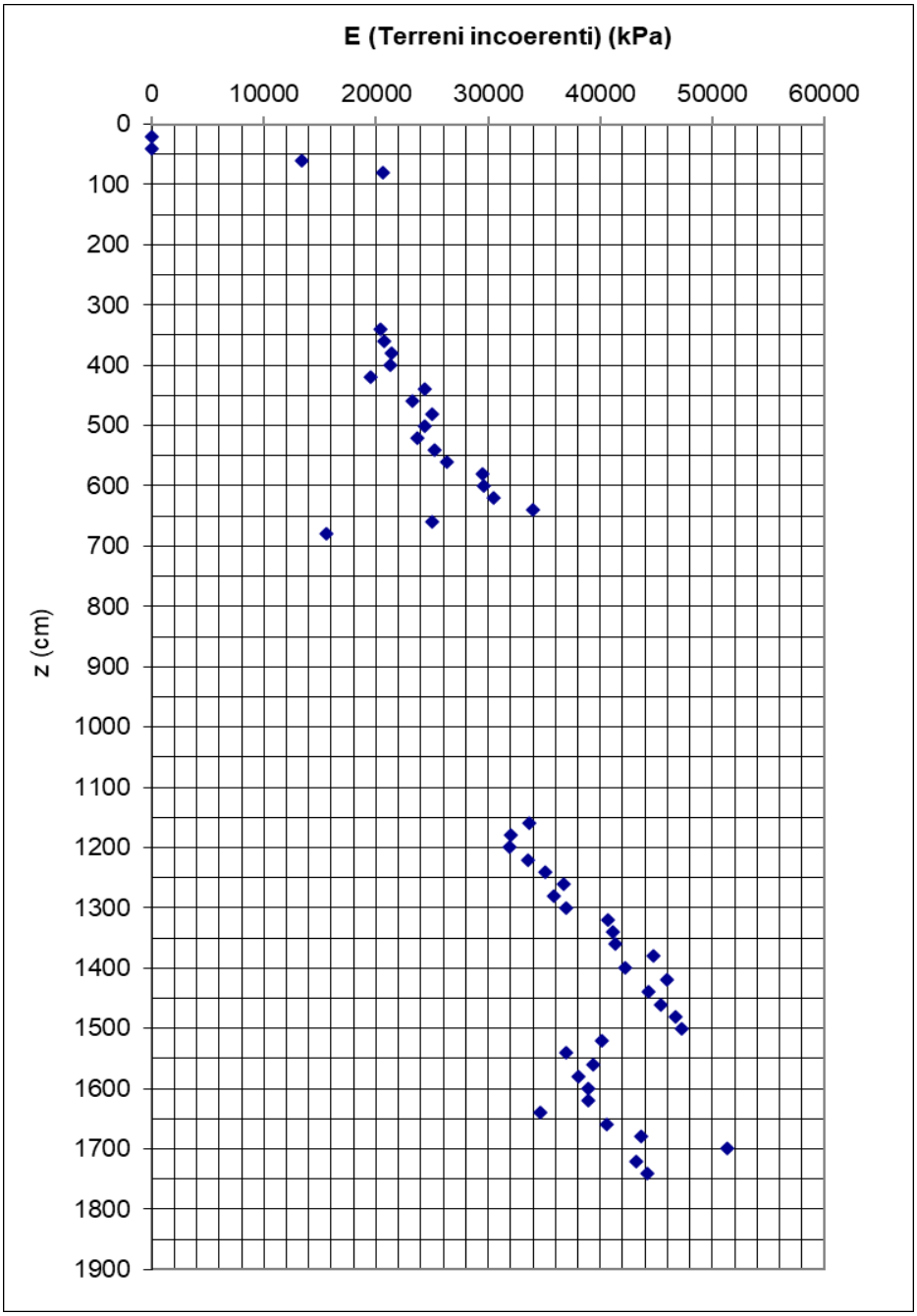
C.P.T. 2 – COESIONE EFFICACE C'



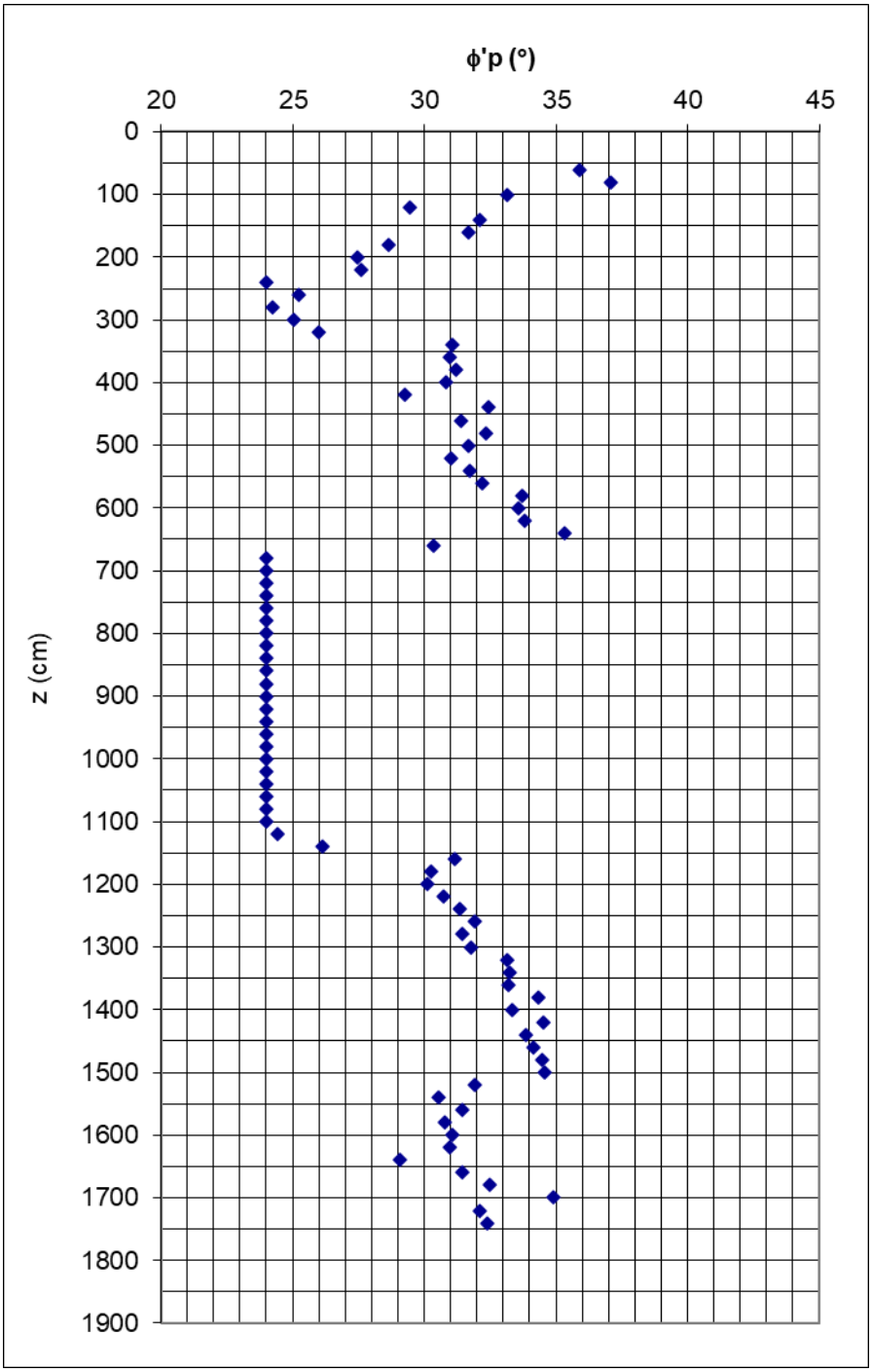
C.P.T. 2 – MODULO ELASTICO NON DRENATO Eu



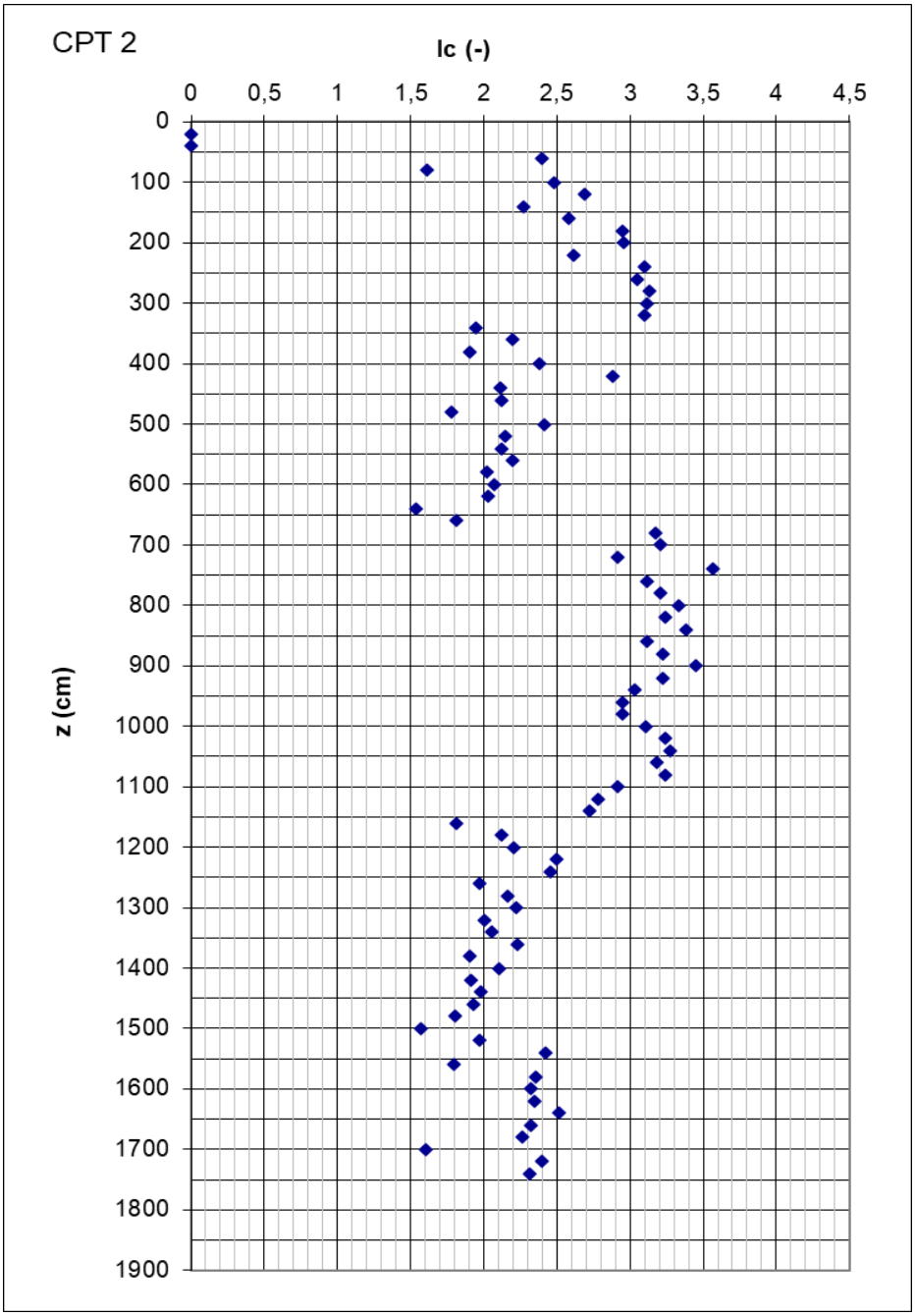
C.P.T. 2 - MODULO ELASTICO E



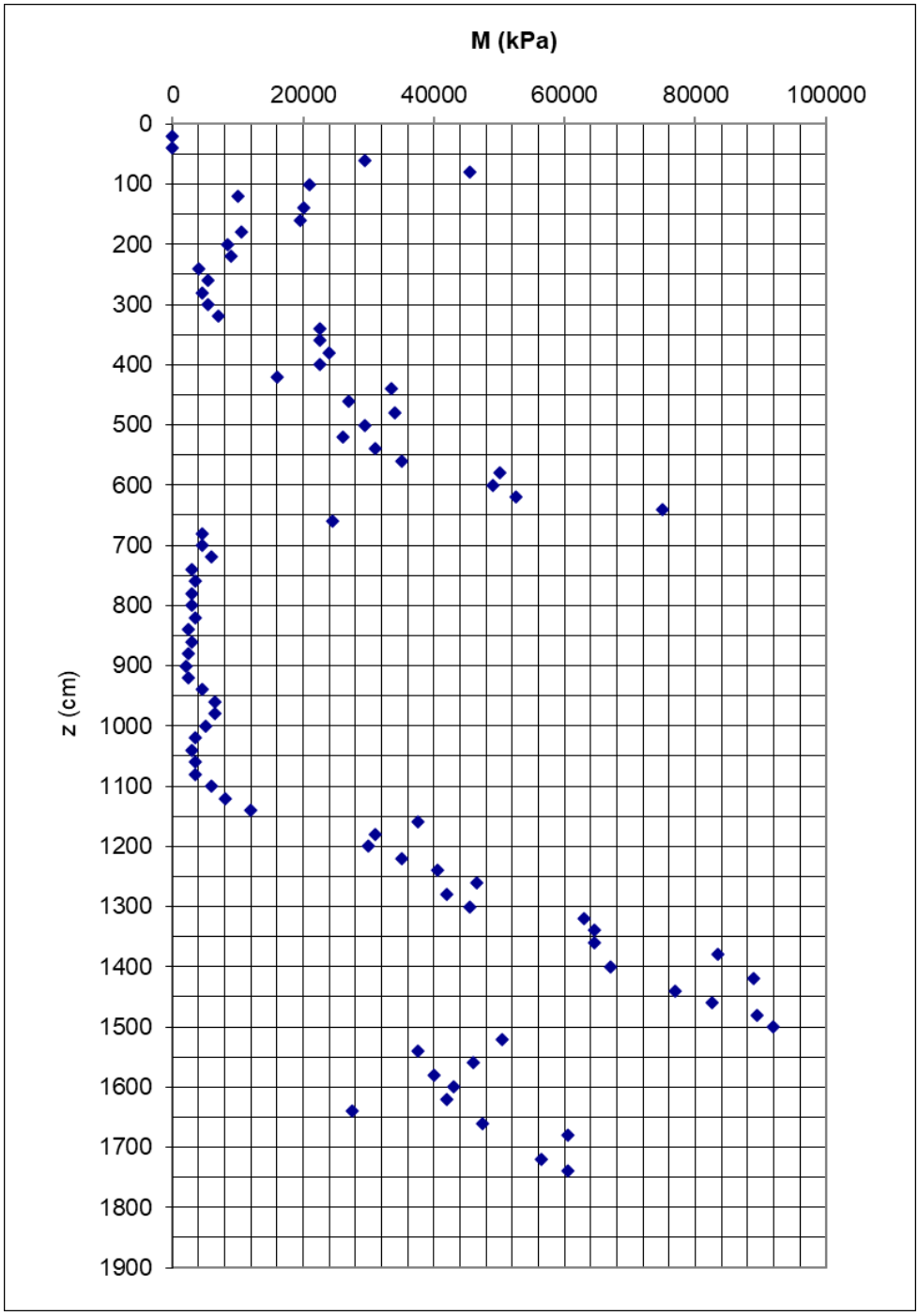
C.P.T. 2 - ANGOLO D'ATTRITO



C.P.T. 2 – INDICE DI COMPORTAMENTO DEL TERRENO Ic

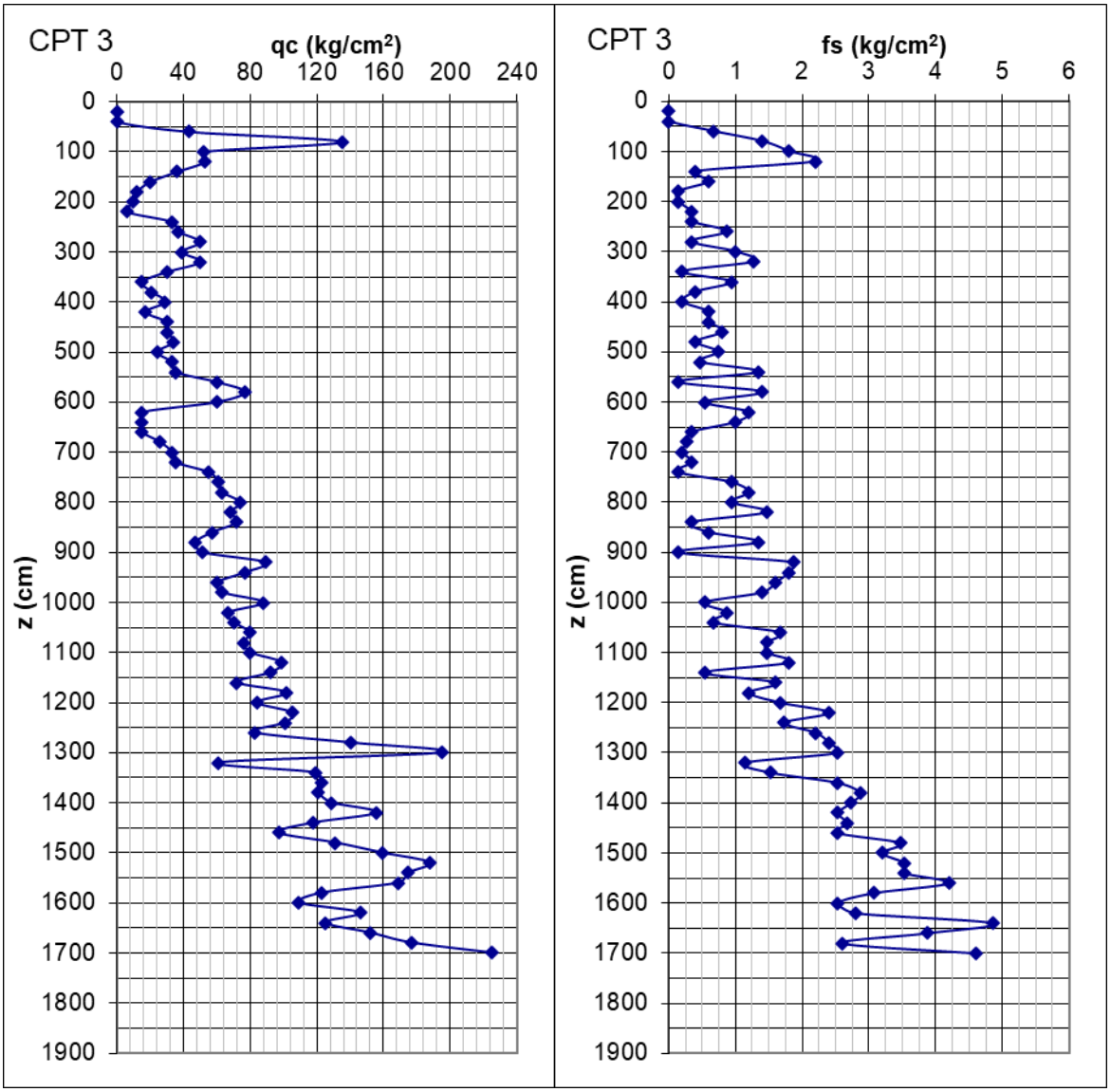


C.P.T. 2 – MODULO DI CONFINAMENTO M

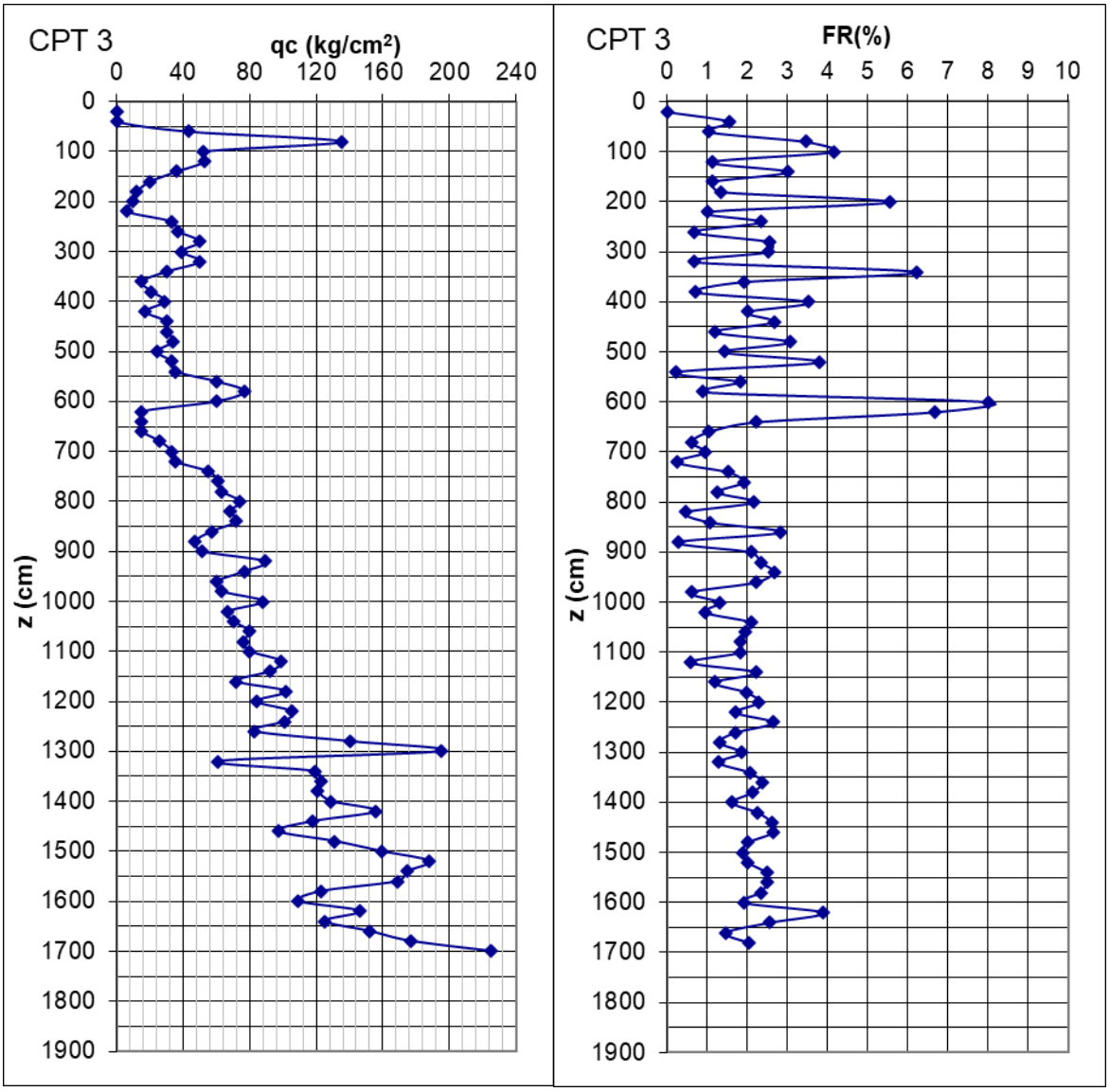


8.1.3 C.P.T. 3

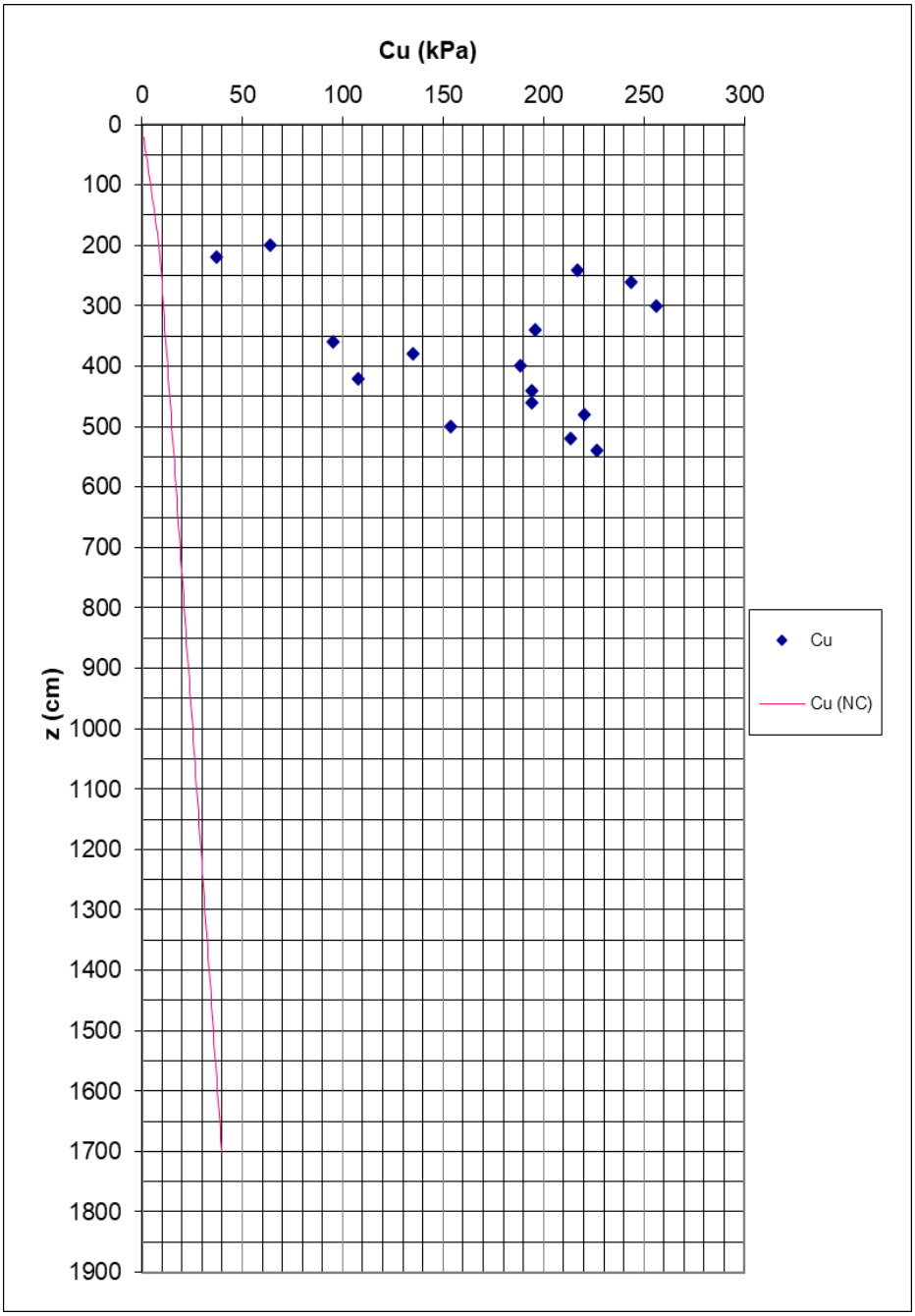
C.P.T. 3 - QC/Fs



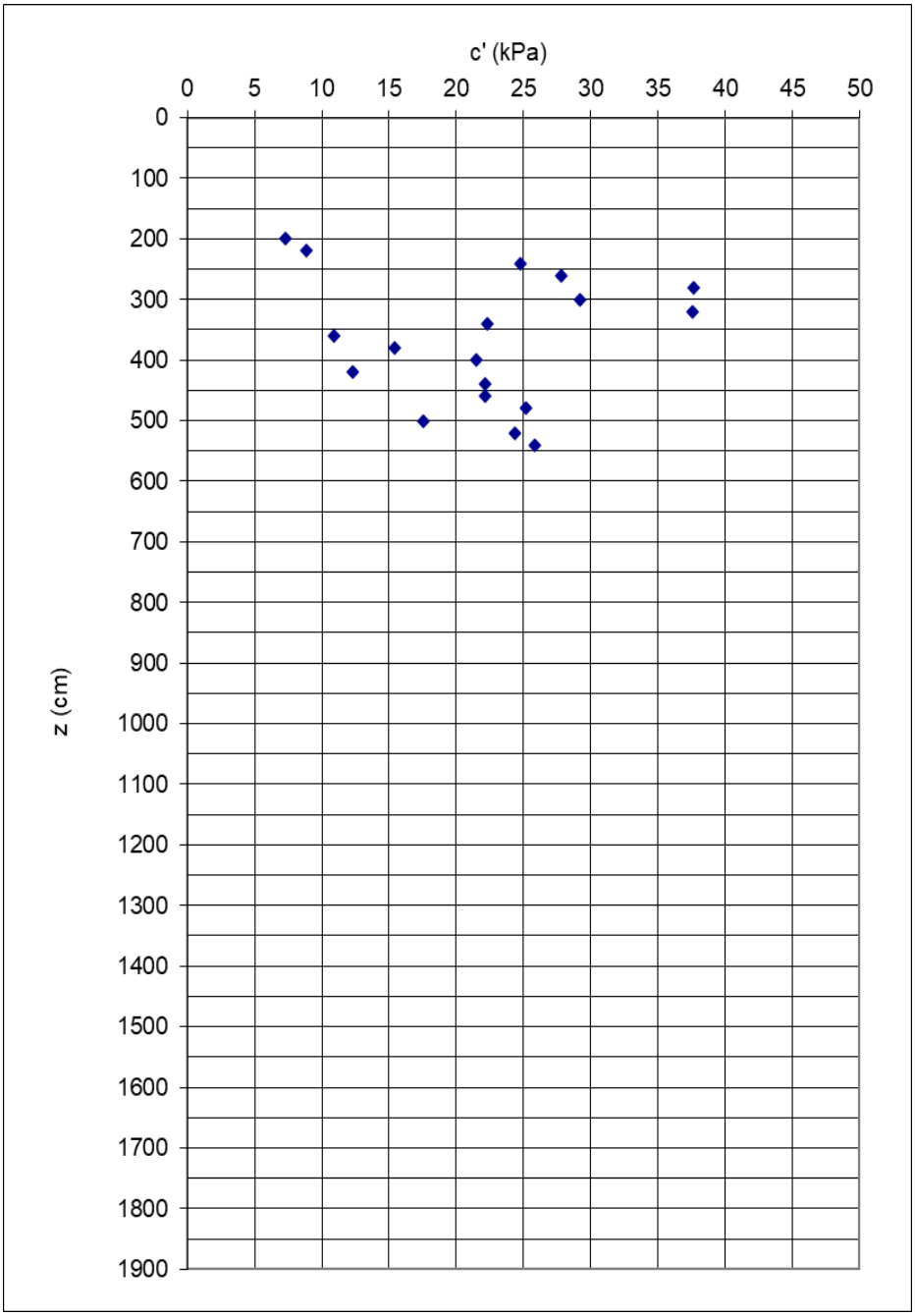
C.P.T. 3 - QC/Fr


CPT 3
qc (kg/cm²)
0 40 80 120 160 200 240
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900
CPT 3
FR(%)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900

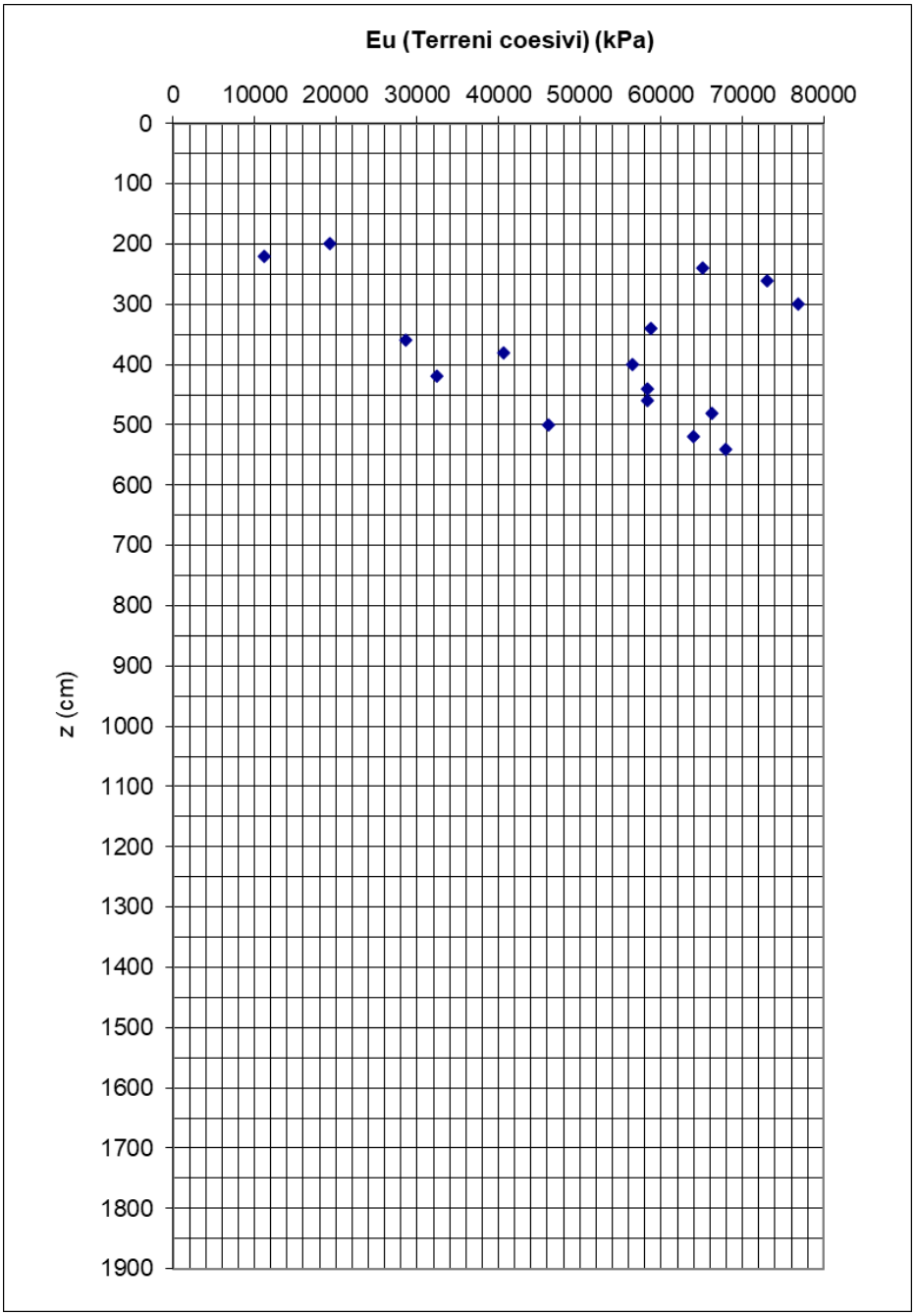
C.P.T. 3 – COESIONE NON DRENATA Cu



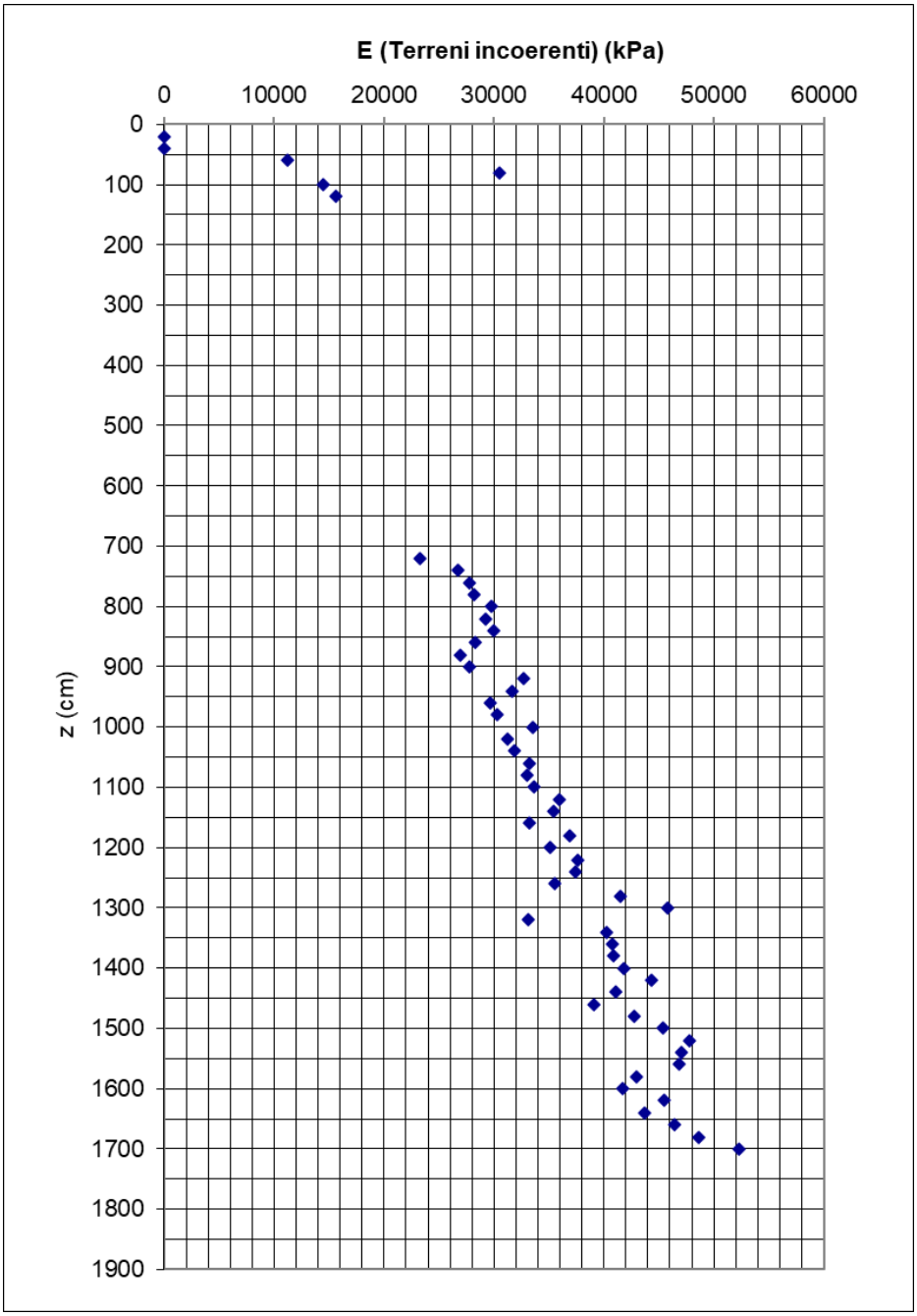
C.P.T. 3 – COESIONE EFFICACE C'



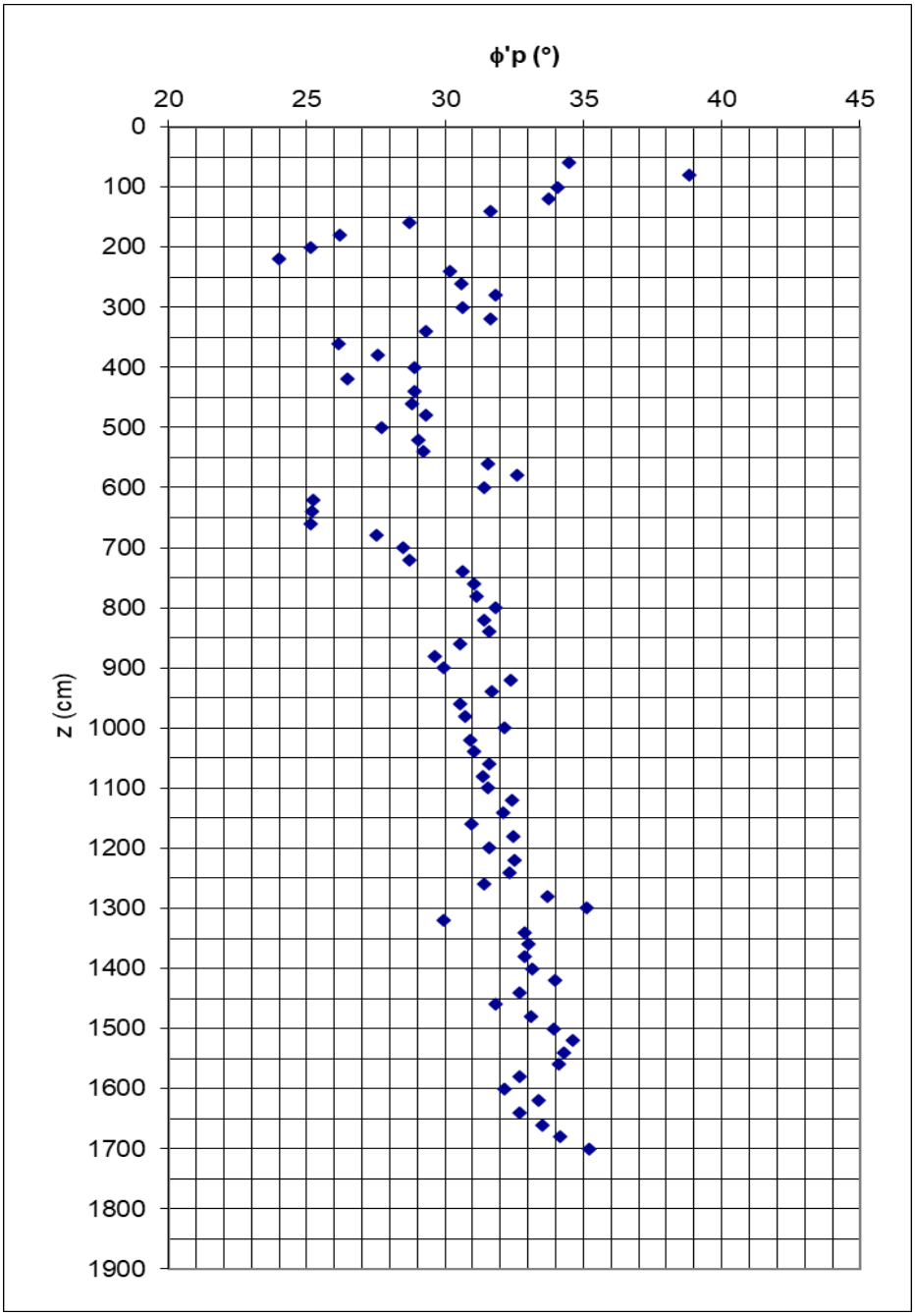
C.P.T. 3 - MODULO ELASTICO NON DRENATO Eu



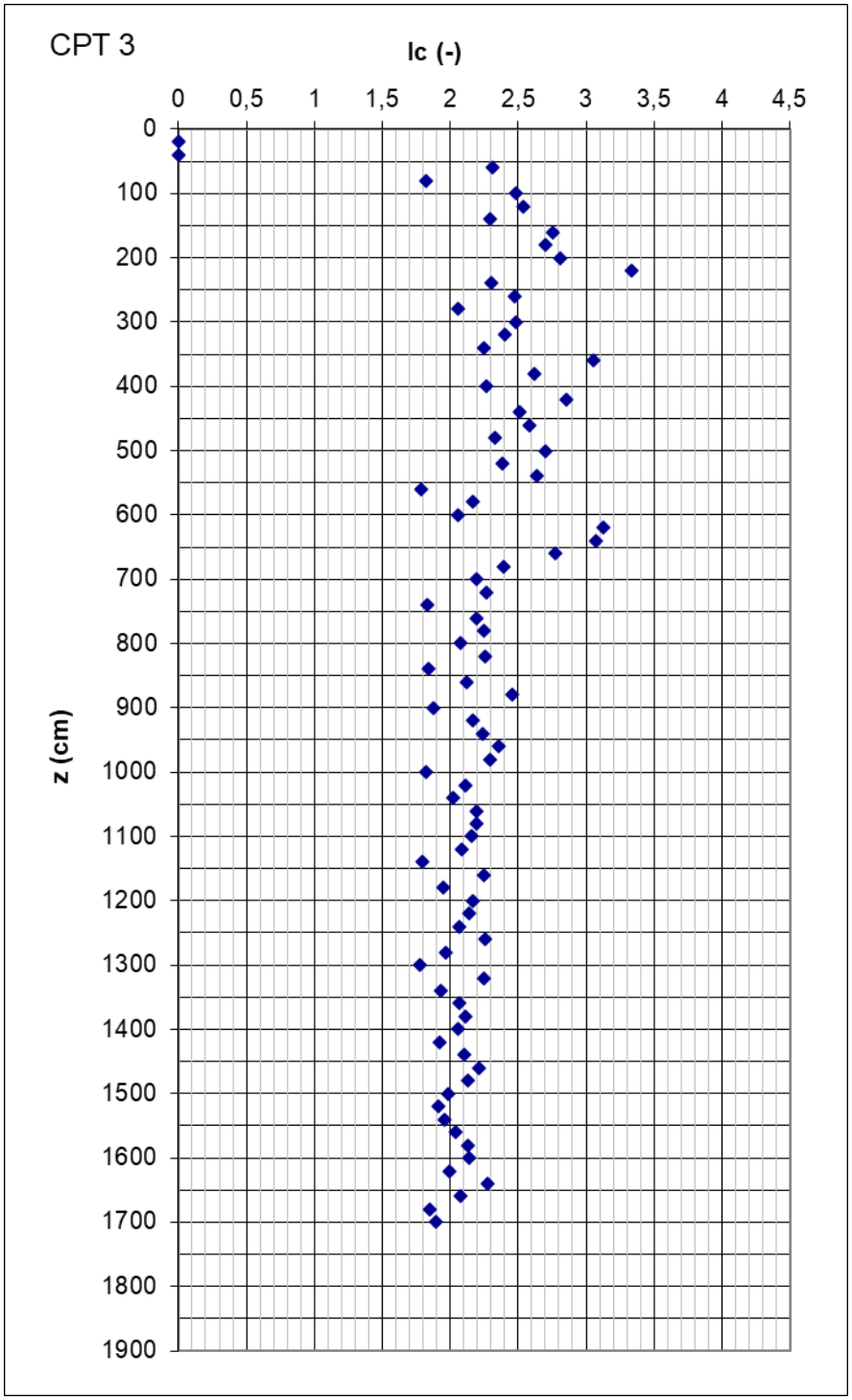
C.P.T. 3 - MODULO ELASTICO E



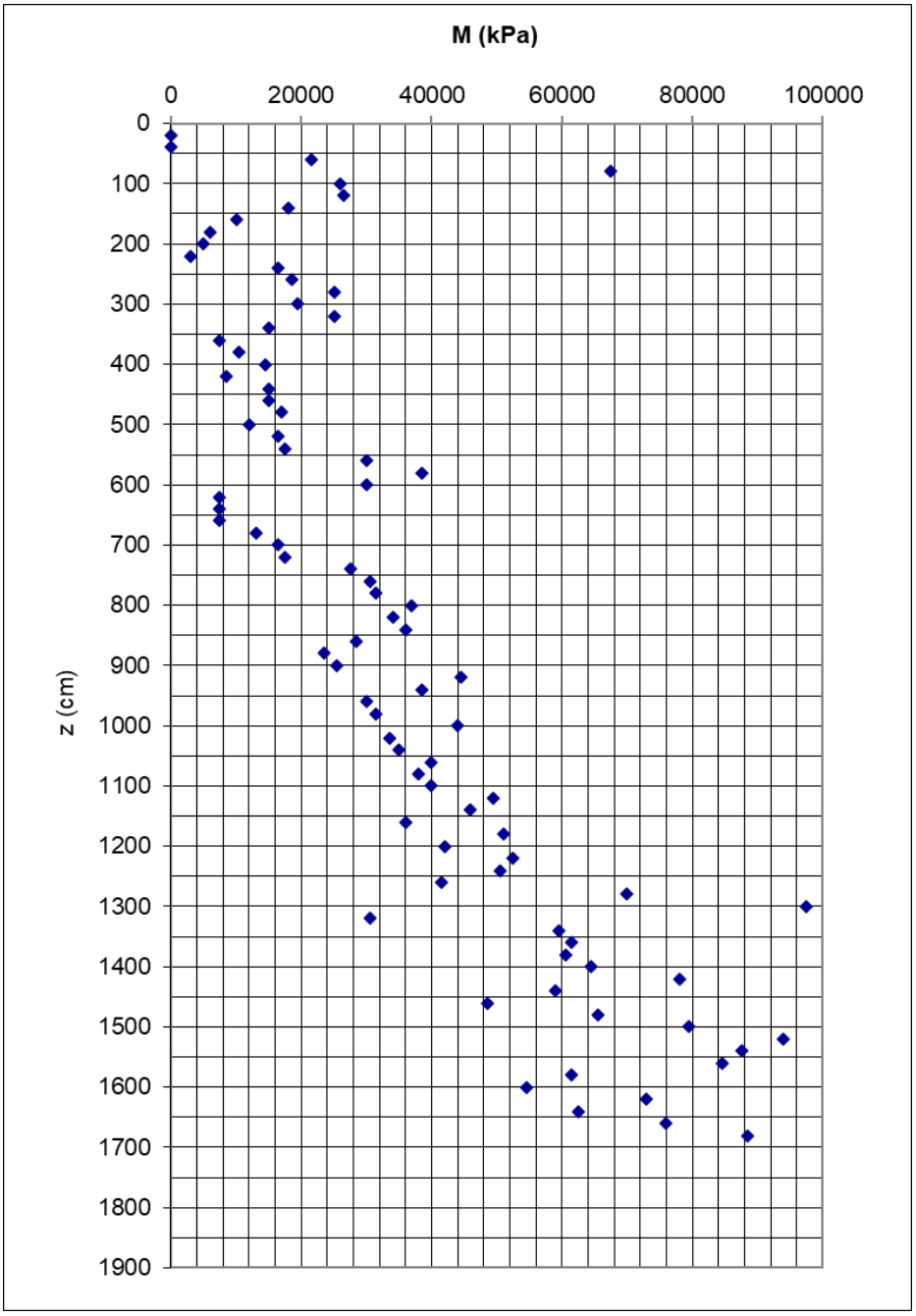
C.P.T. 3 - ANGOLO D'ATTRITO



C.P.T. 3 – INDICE DI COMPORTAMENTO DEL TERRENO Ic

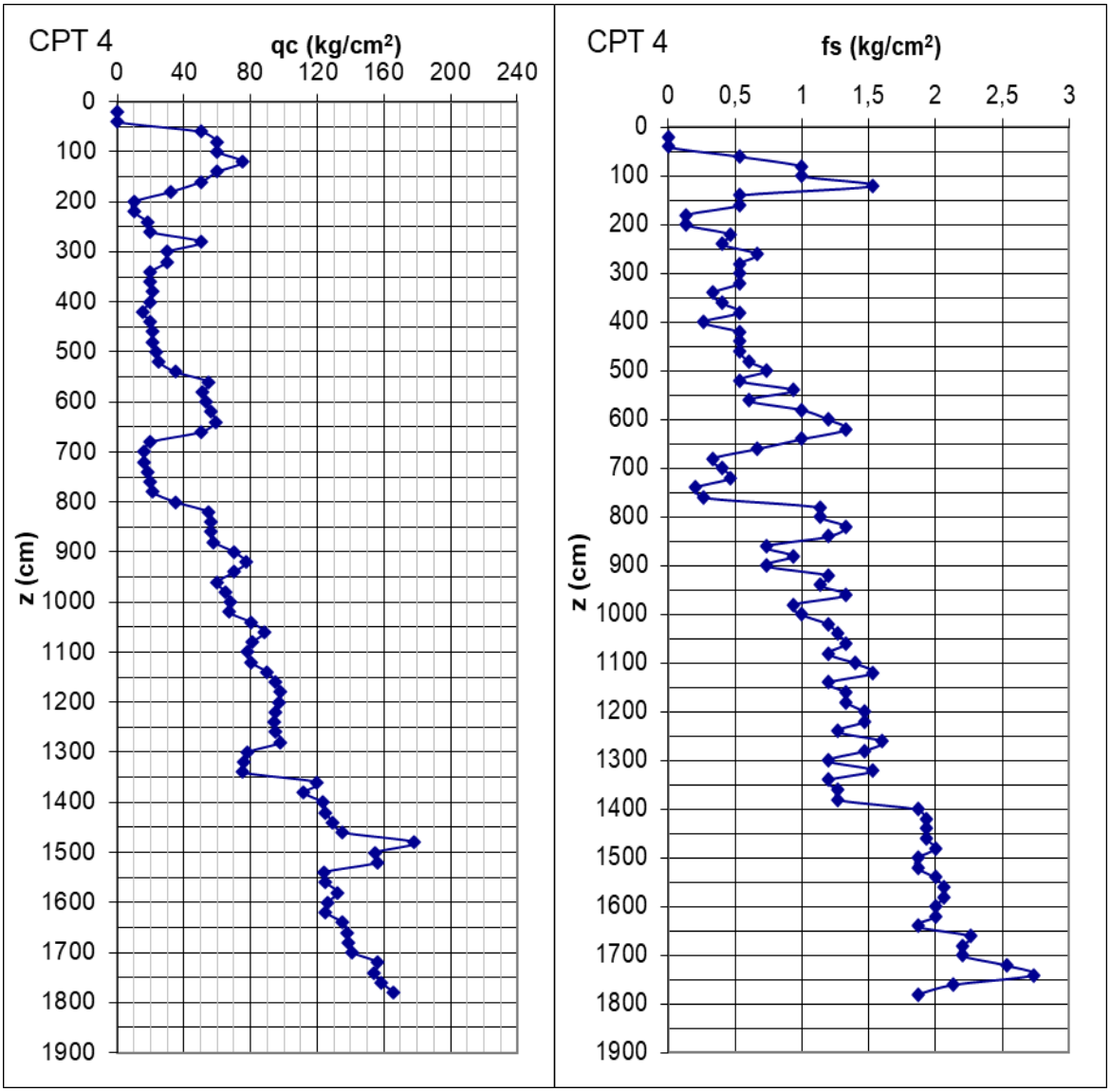


C.P.T. 3 – MODULO DI CONFINAMENTO M

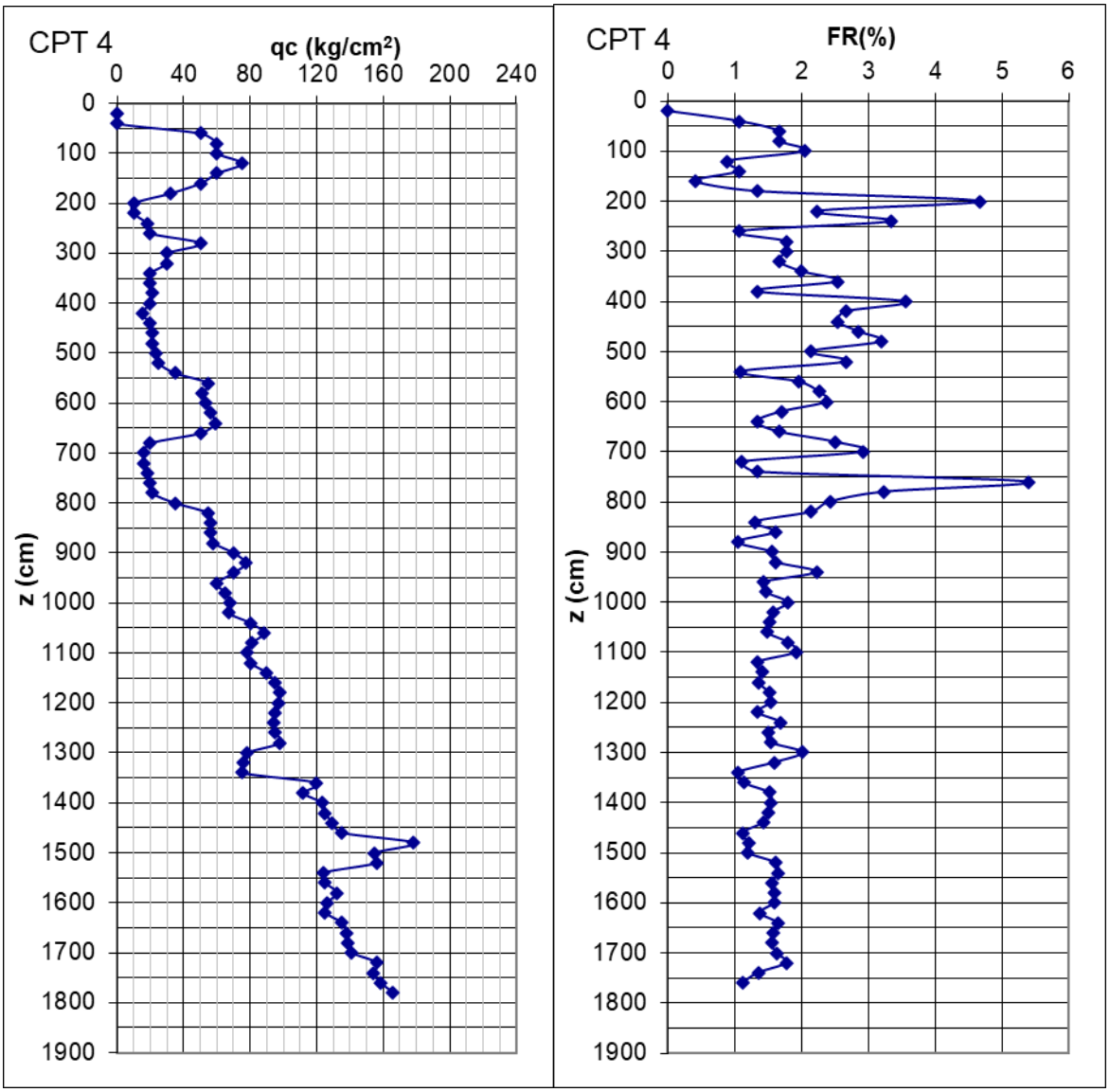


8.1.4 C.P.T. 4

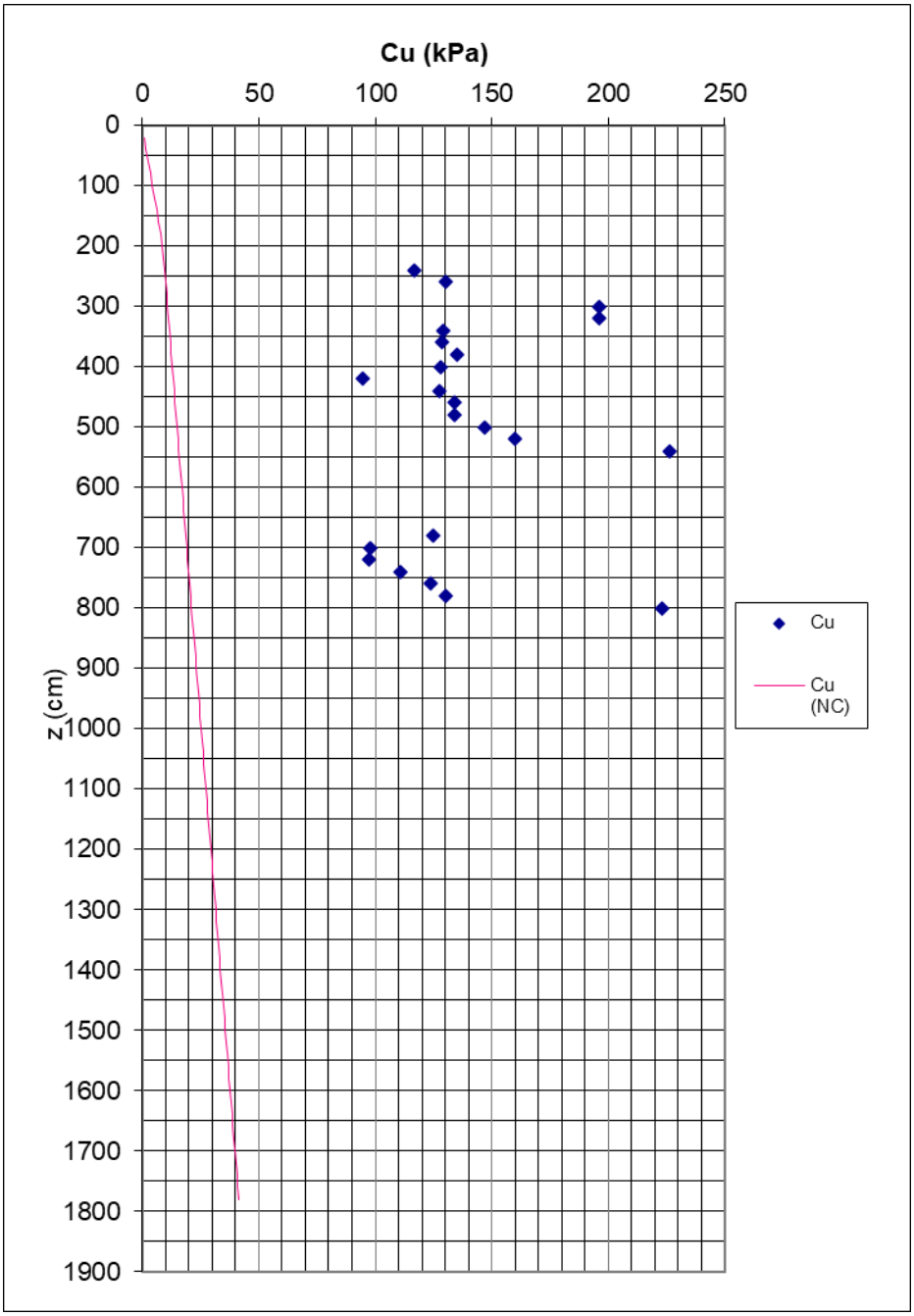
C.P.T. 4 - QC/Fs



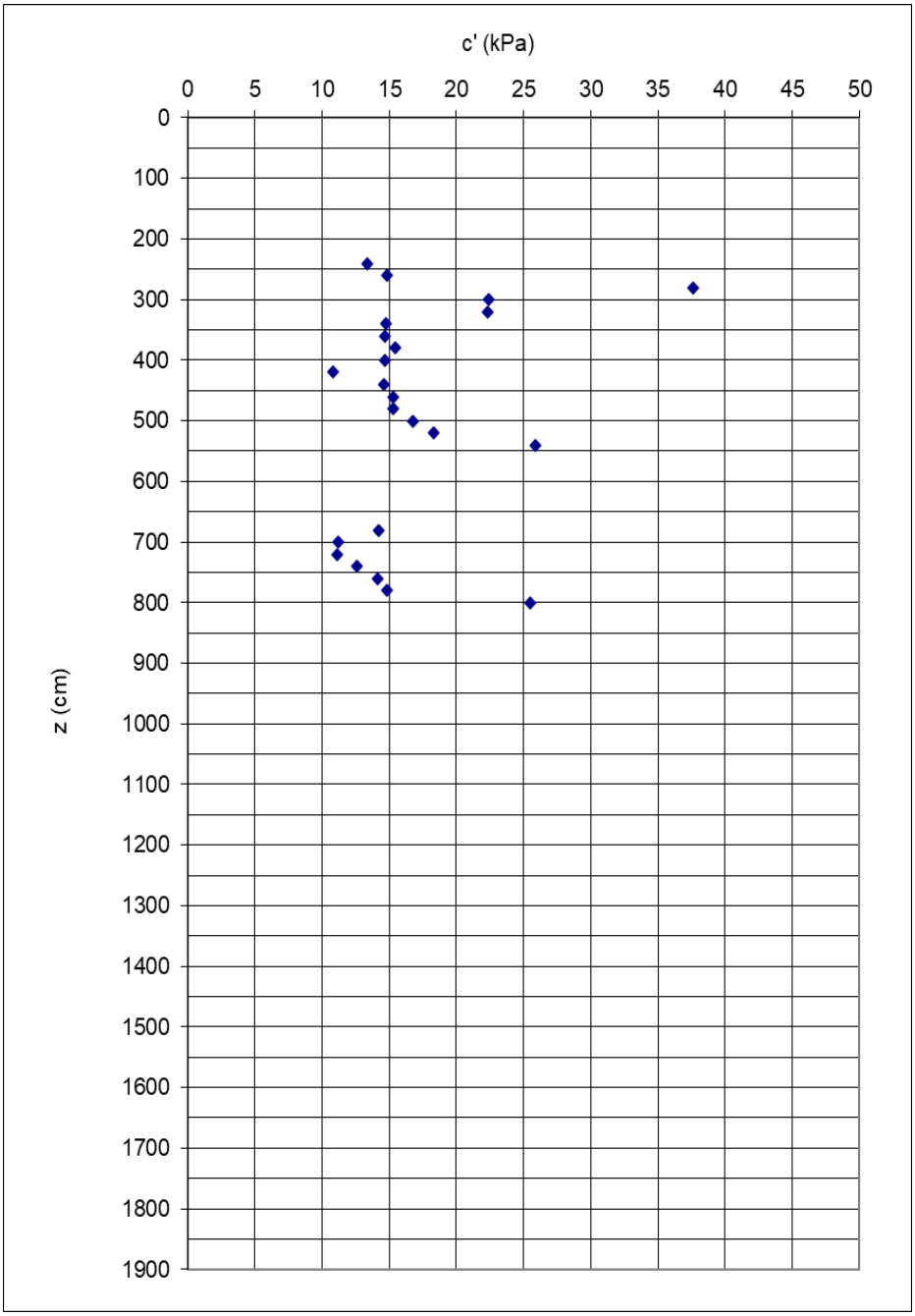
C.P.T. 4 - QC/Fr


CPT 4
qc (kg/cm²)
0 40 80 120 160 200 240
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900
CPT 4
FR(%)
0 1 2 3 4 5 6
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900

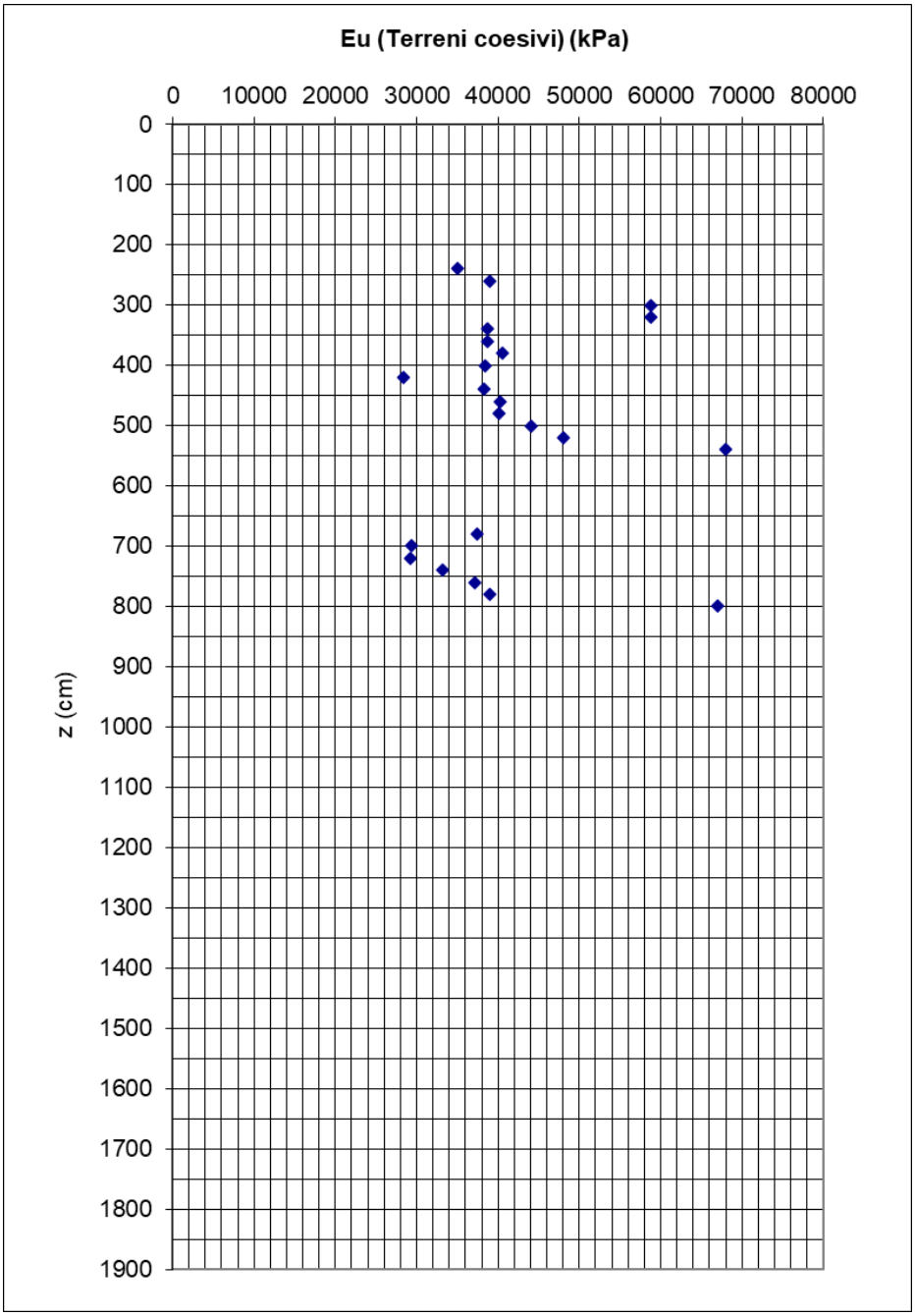
C.P.T. 4 – COESIONE NON DRENATA Cu



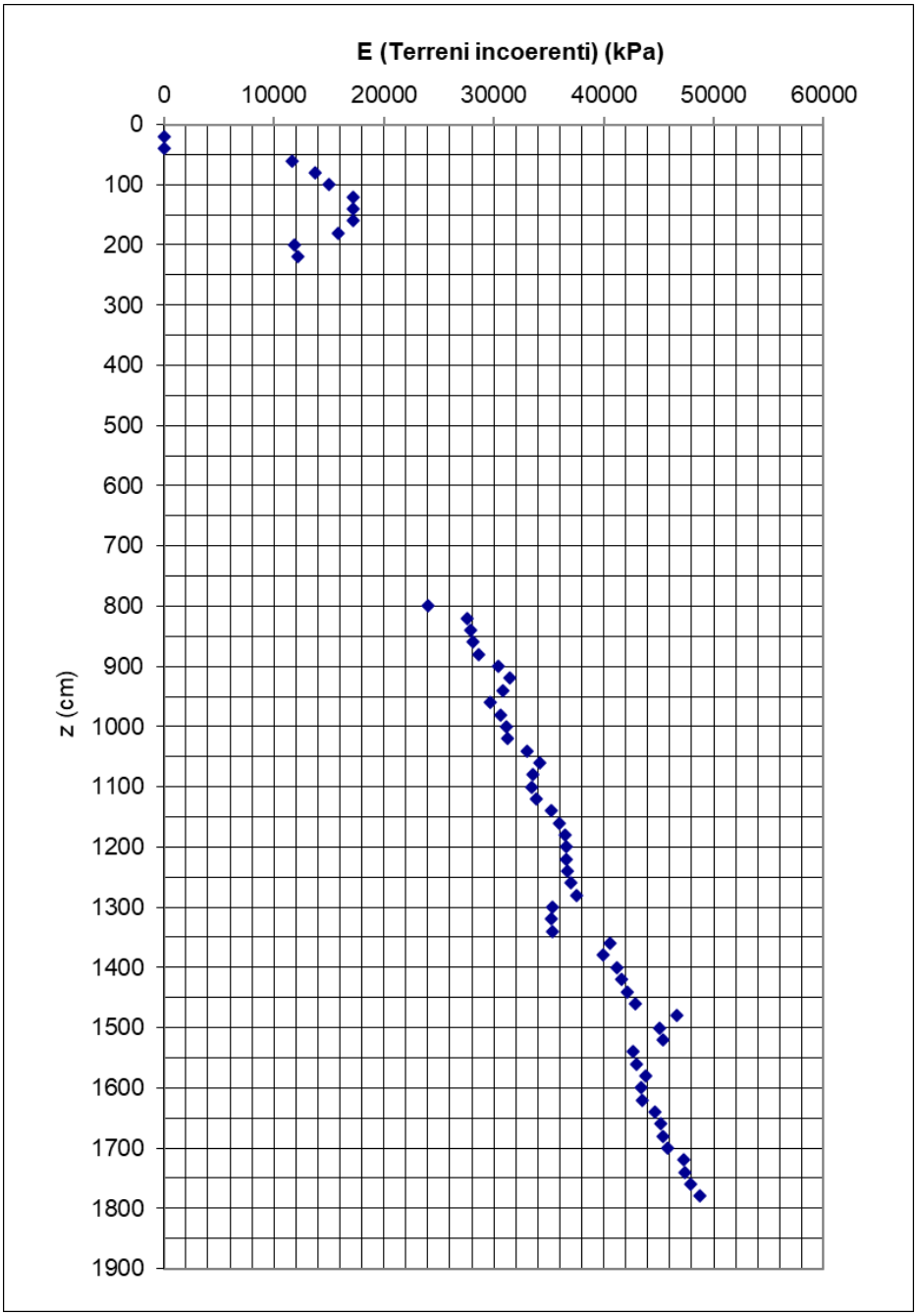
C.P.T. 4 – COESIONE EFFICACE C'



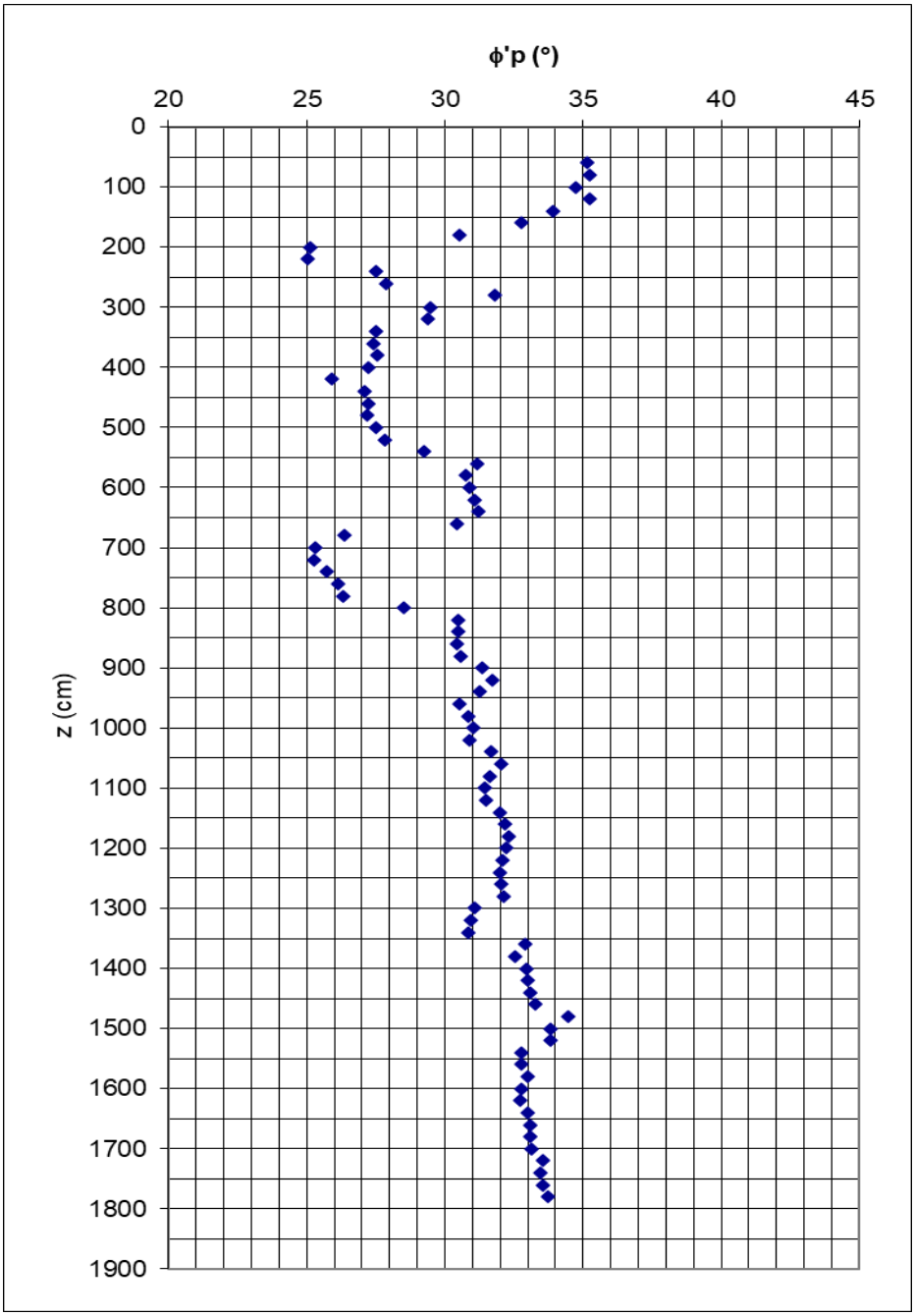
C.P.T. 4 - MODULO ELASTICO NON DRENATO Eu



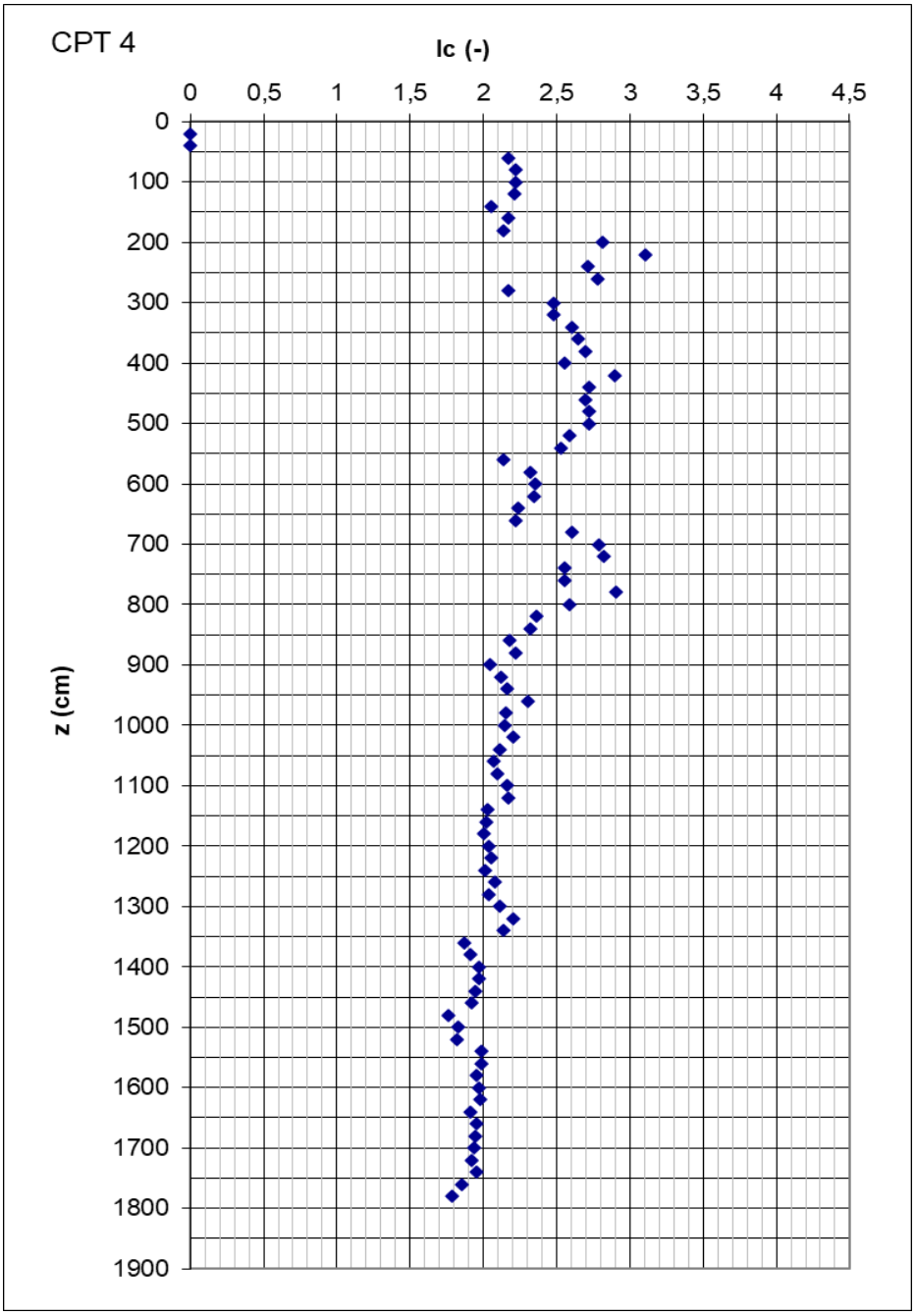
C.P.T. 4 - MODULO ELASTICO E



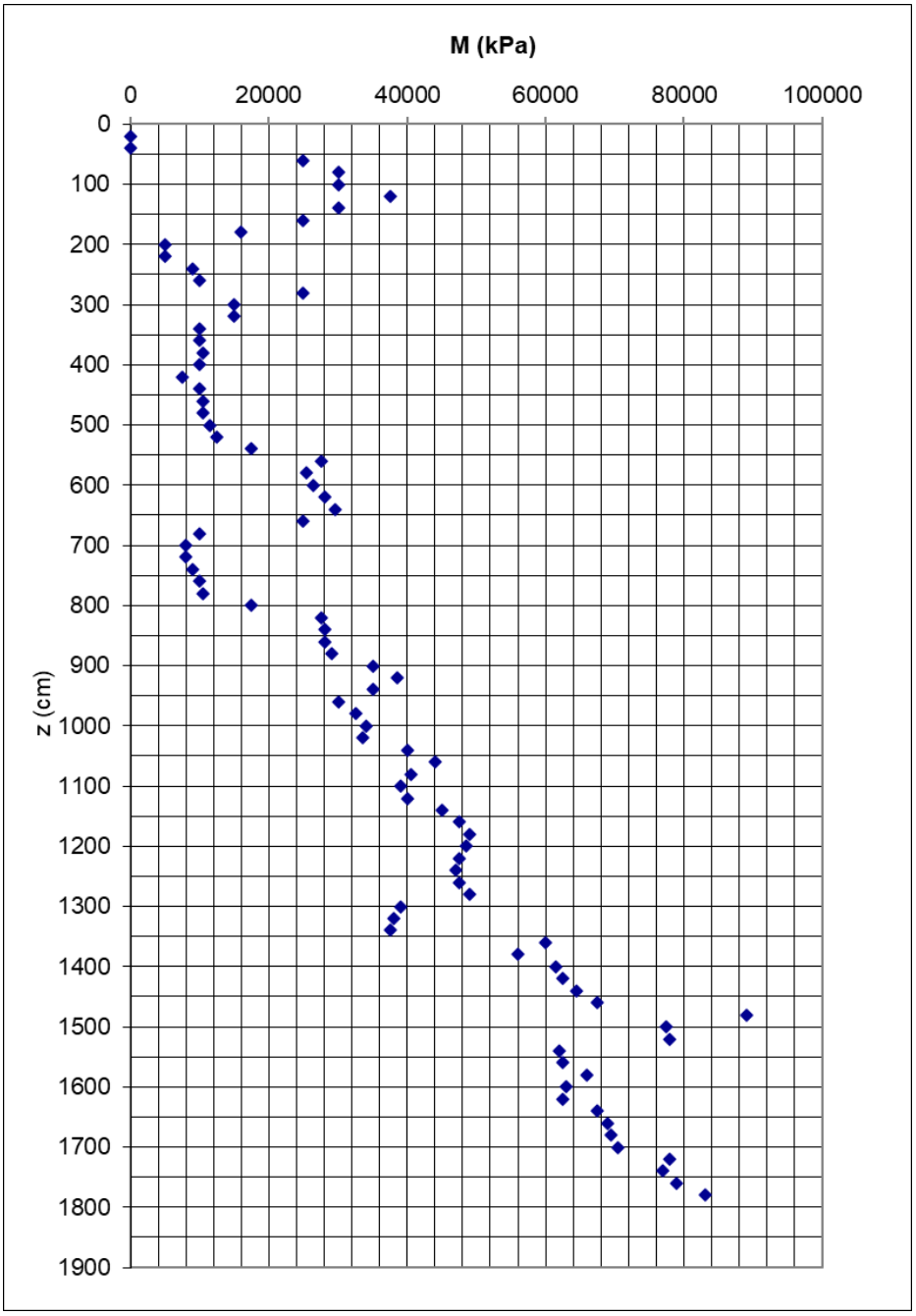
C.P.T. 4 - ANGOLO D'ATTRITO



C.P.T. 4 – INDICE DI COMPORTAMENTO DEL TERRENO Ic

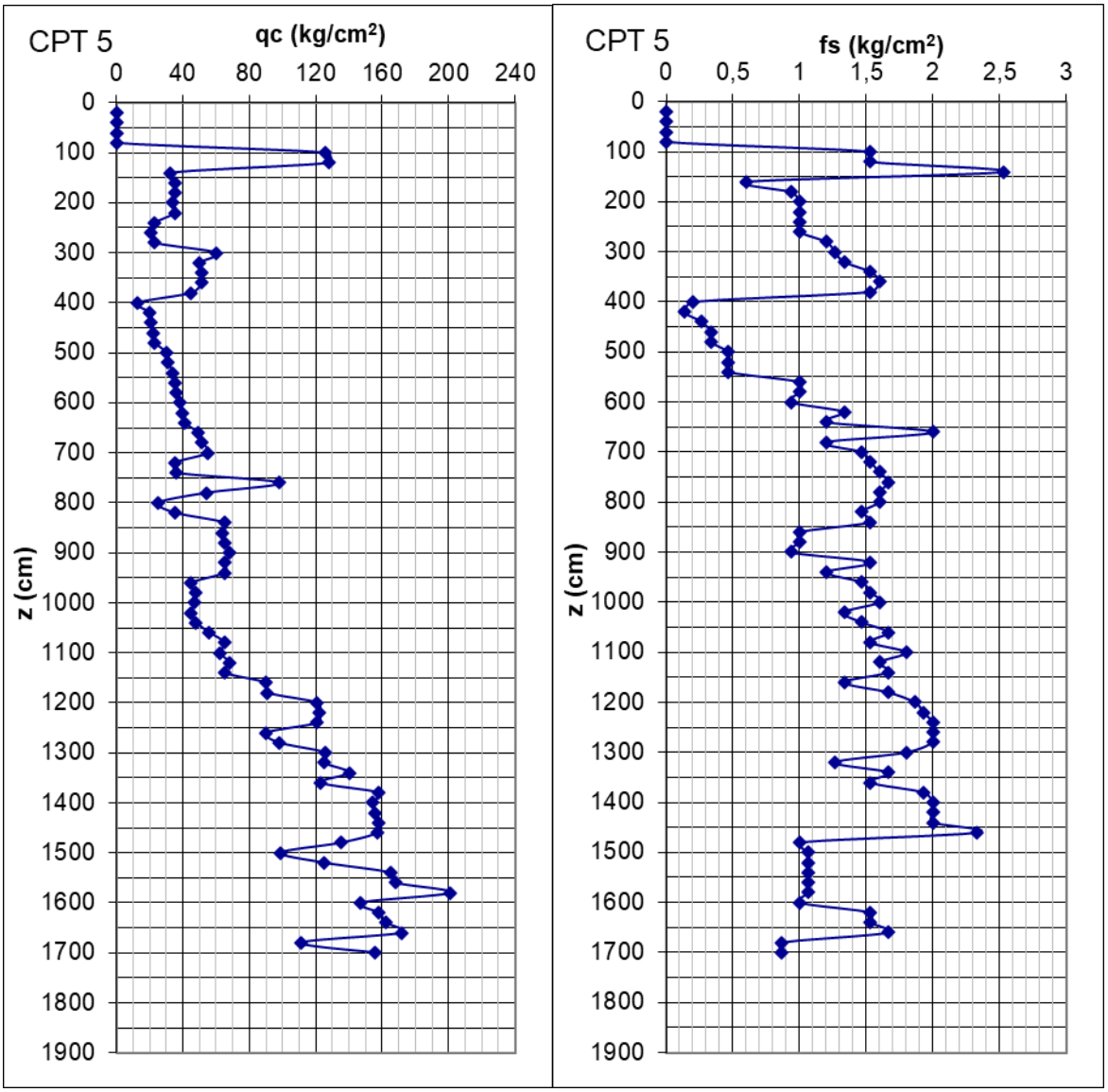


C.P.T. 4 – MODULO DI CONFINAMENTO M

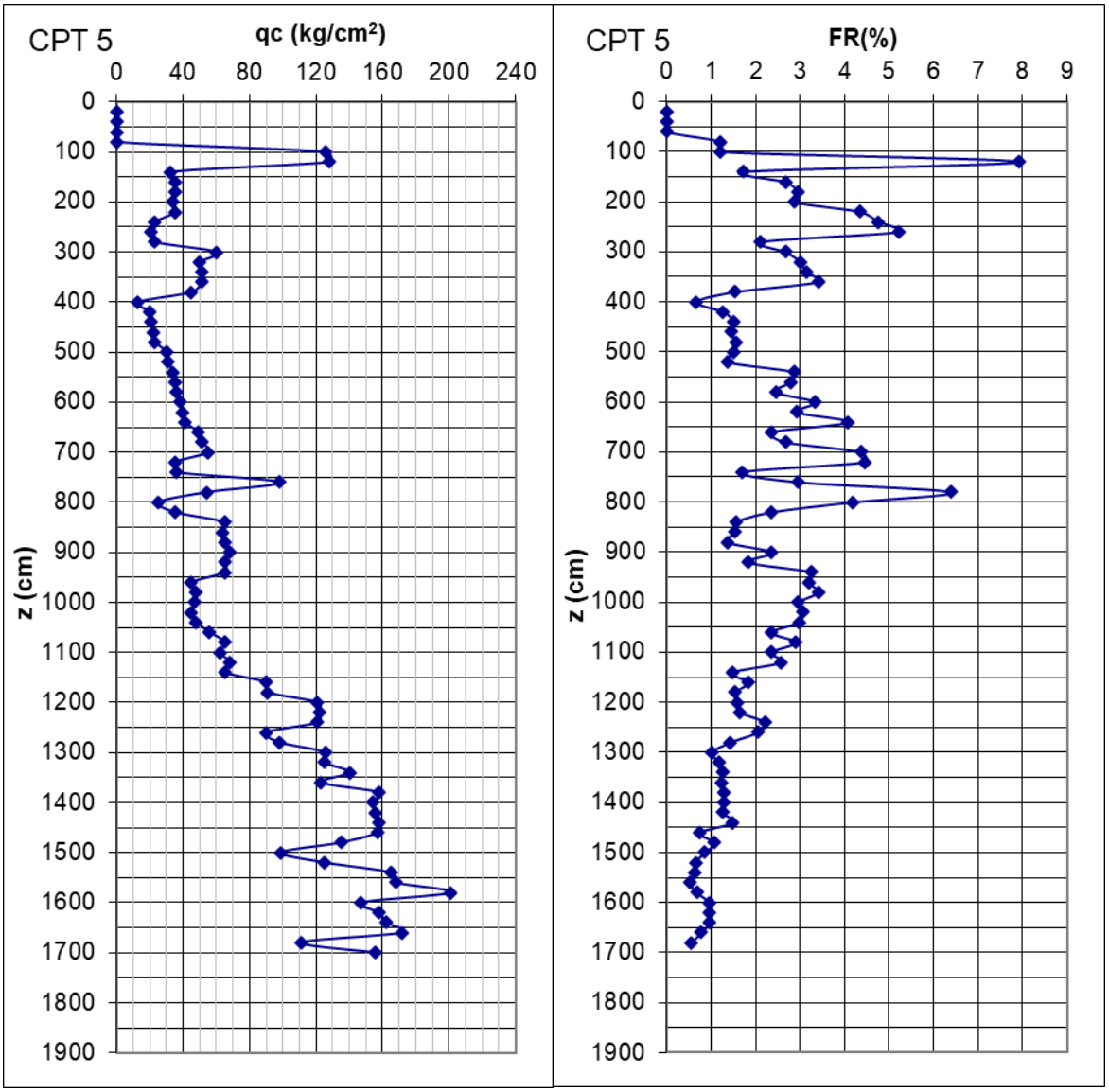


8.1.5 C.P.T. 5

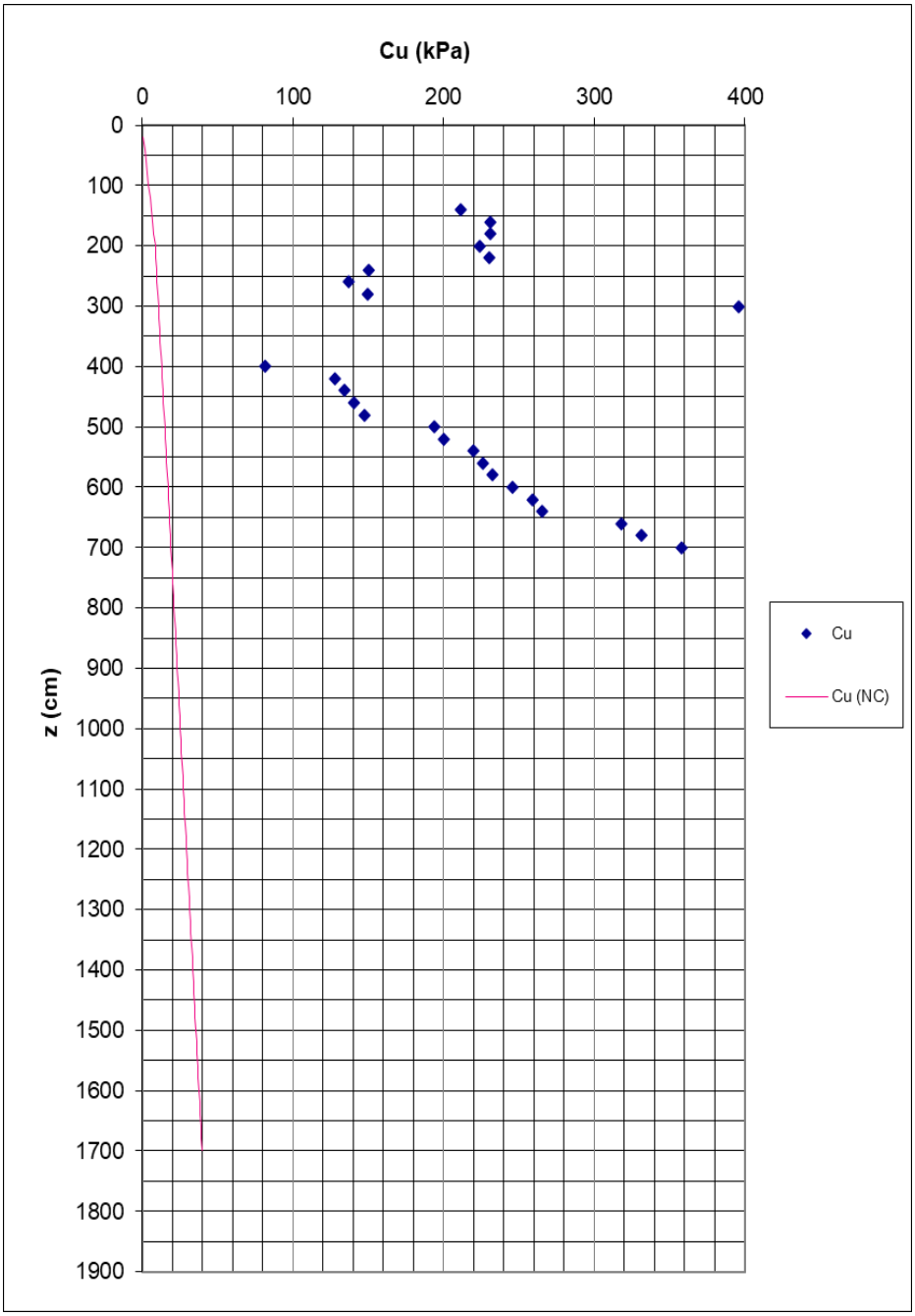
C.P.T. 5 - QC/Fs



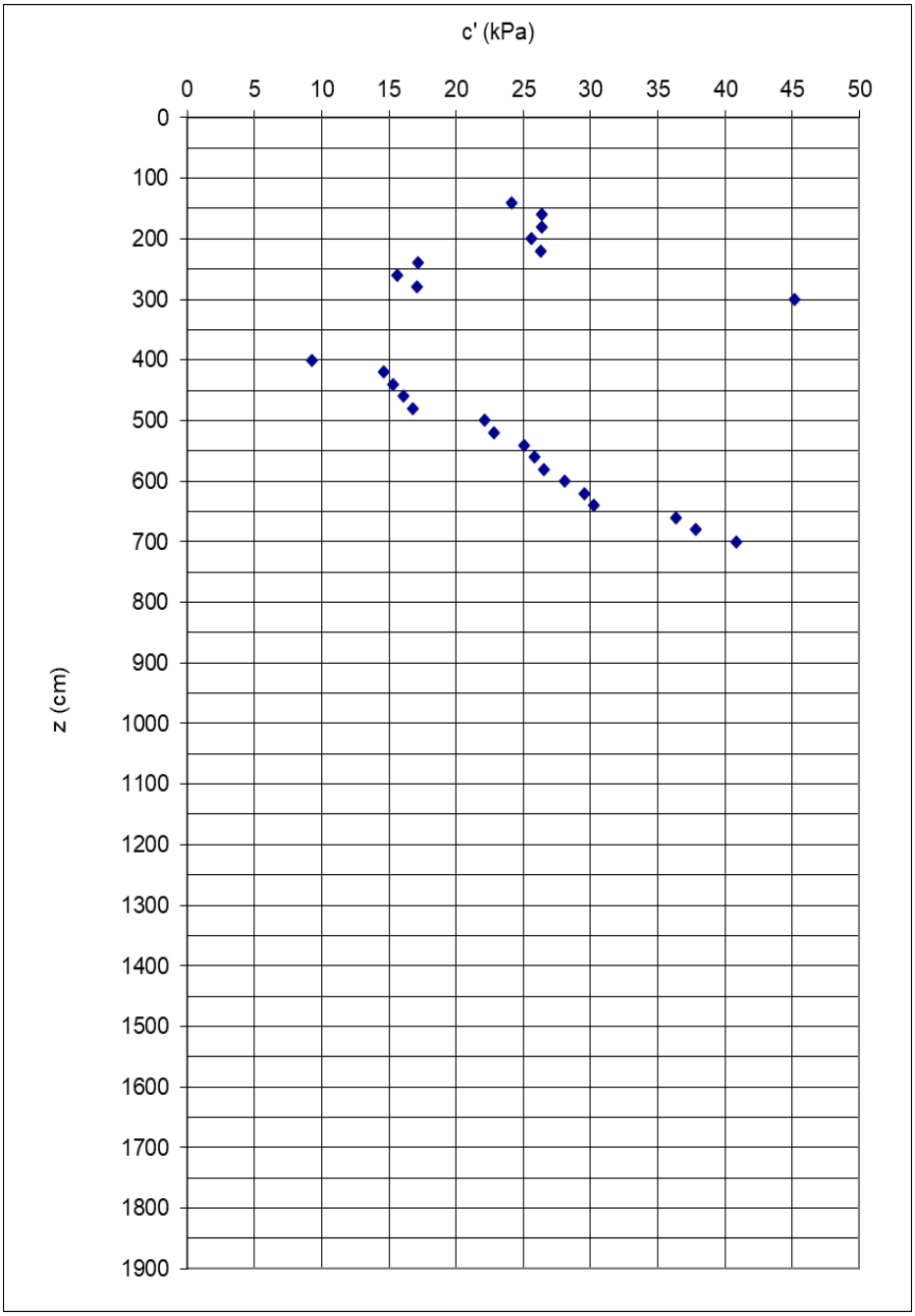
C.P.T. 5 - QC/Fr


CPT 5
qc (kg/cm²)
0 40 80 120 160 200 240
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900
CPT 5
FR(%)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900

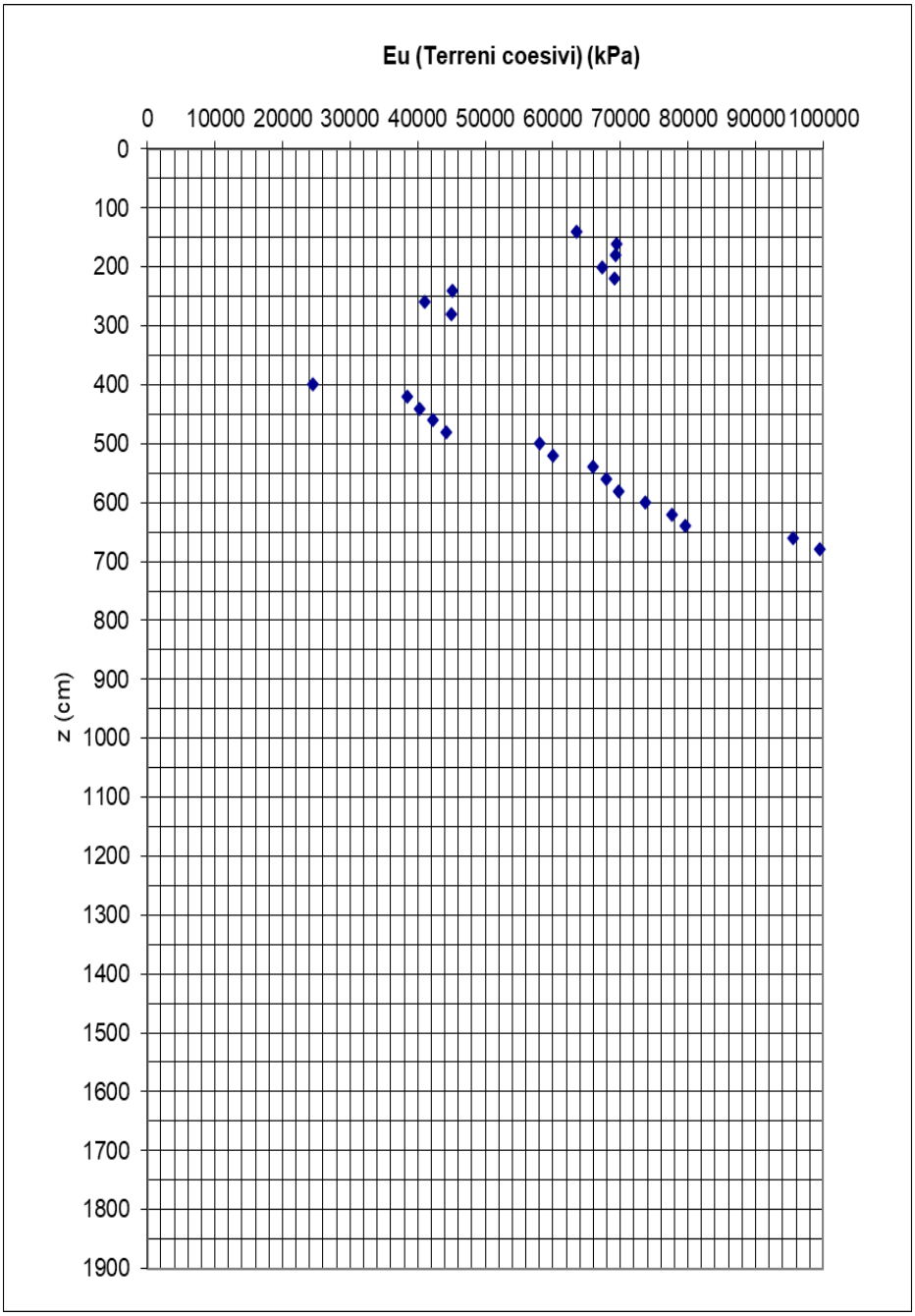
C.P.T. 5 – COESIONE NON DRENATA Cu



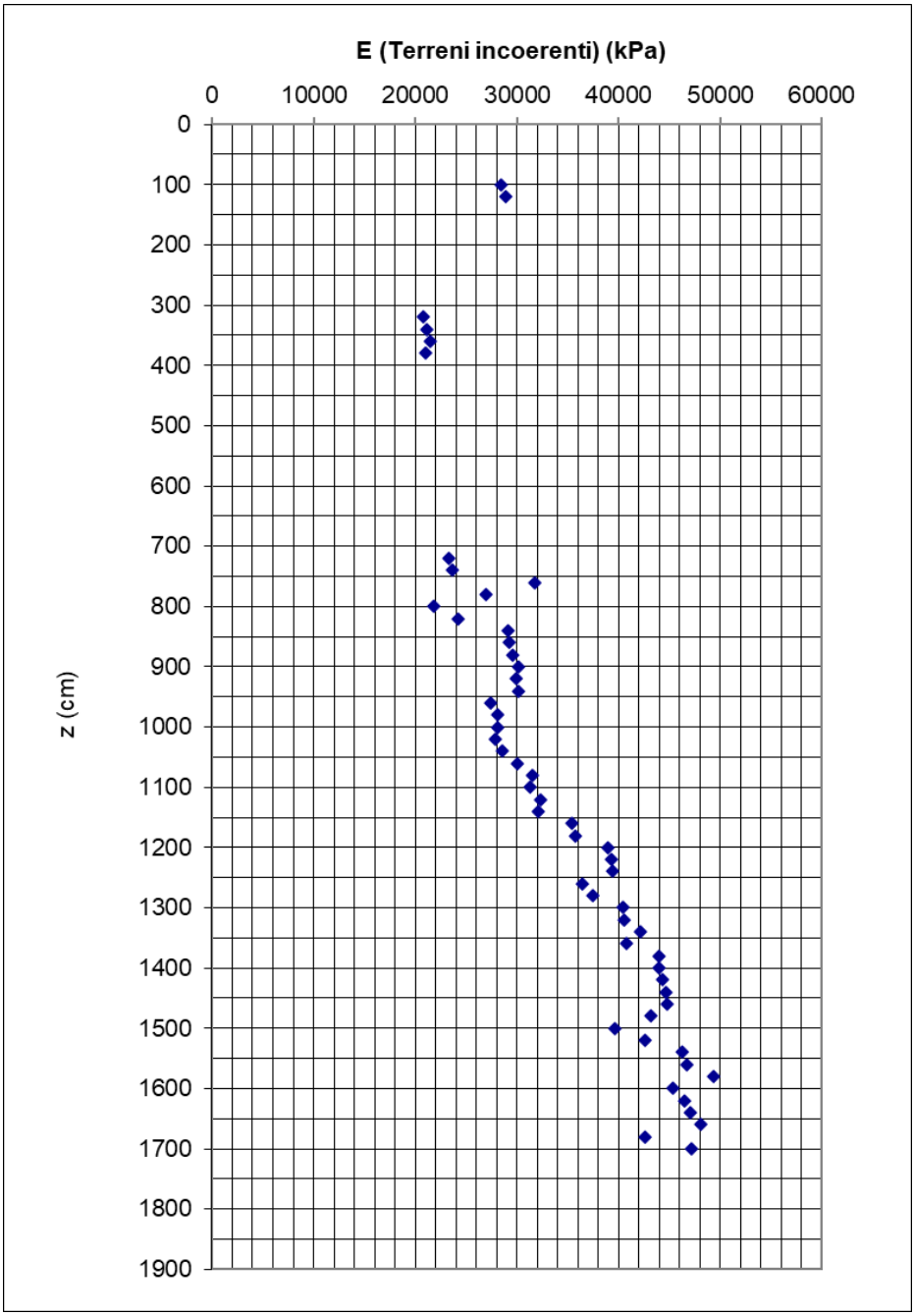
C.P.T. 5 – COESIONE EFFICACE C'



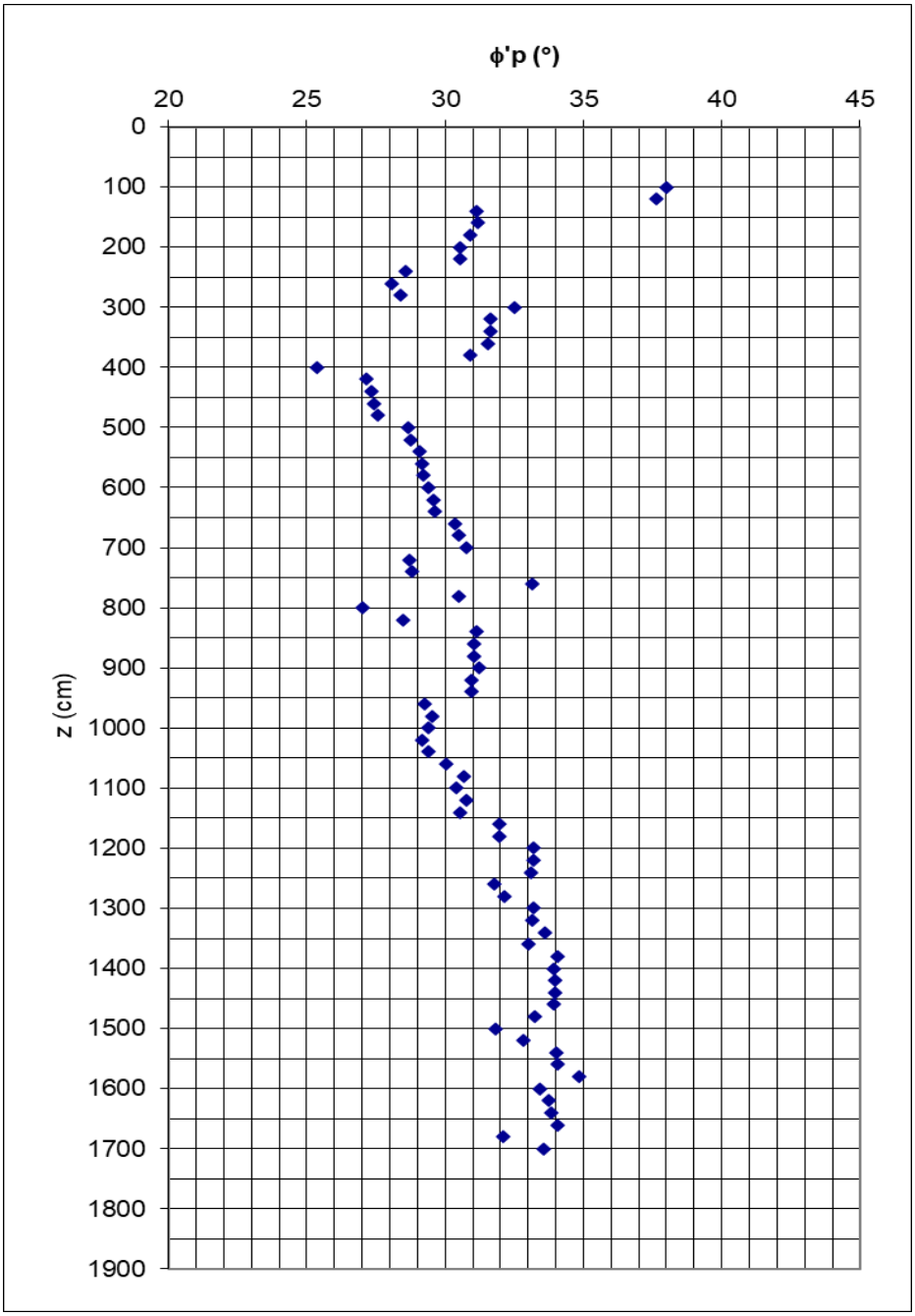
C.P.T. 5 - MODULO ELASTICO NON DRENATO Eu



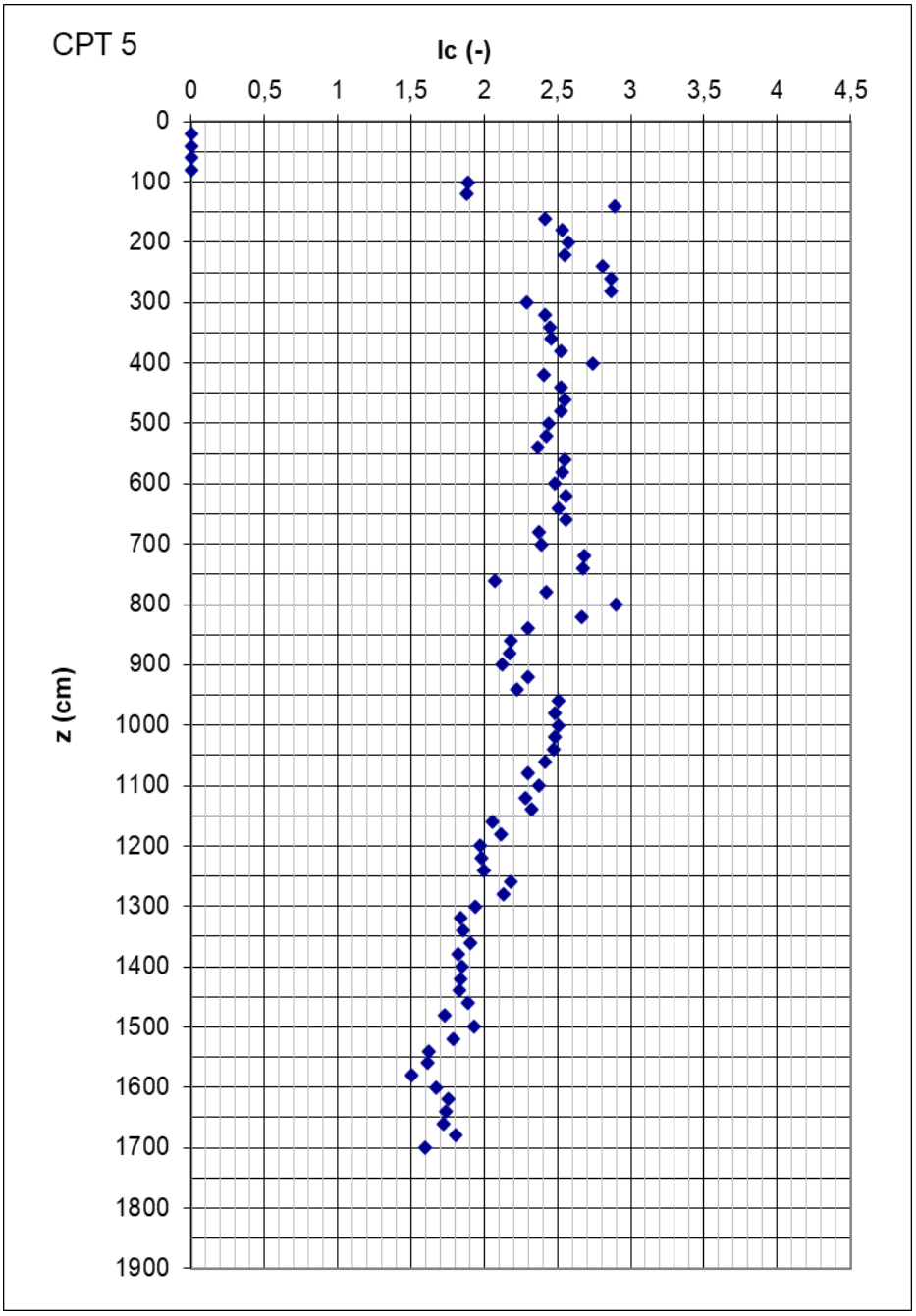
C.P.T. 5 - MODULO ELASTICO E



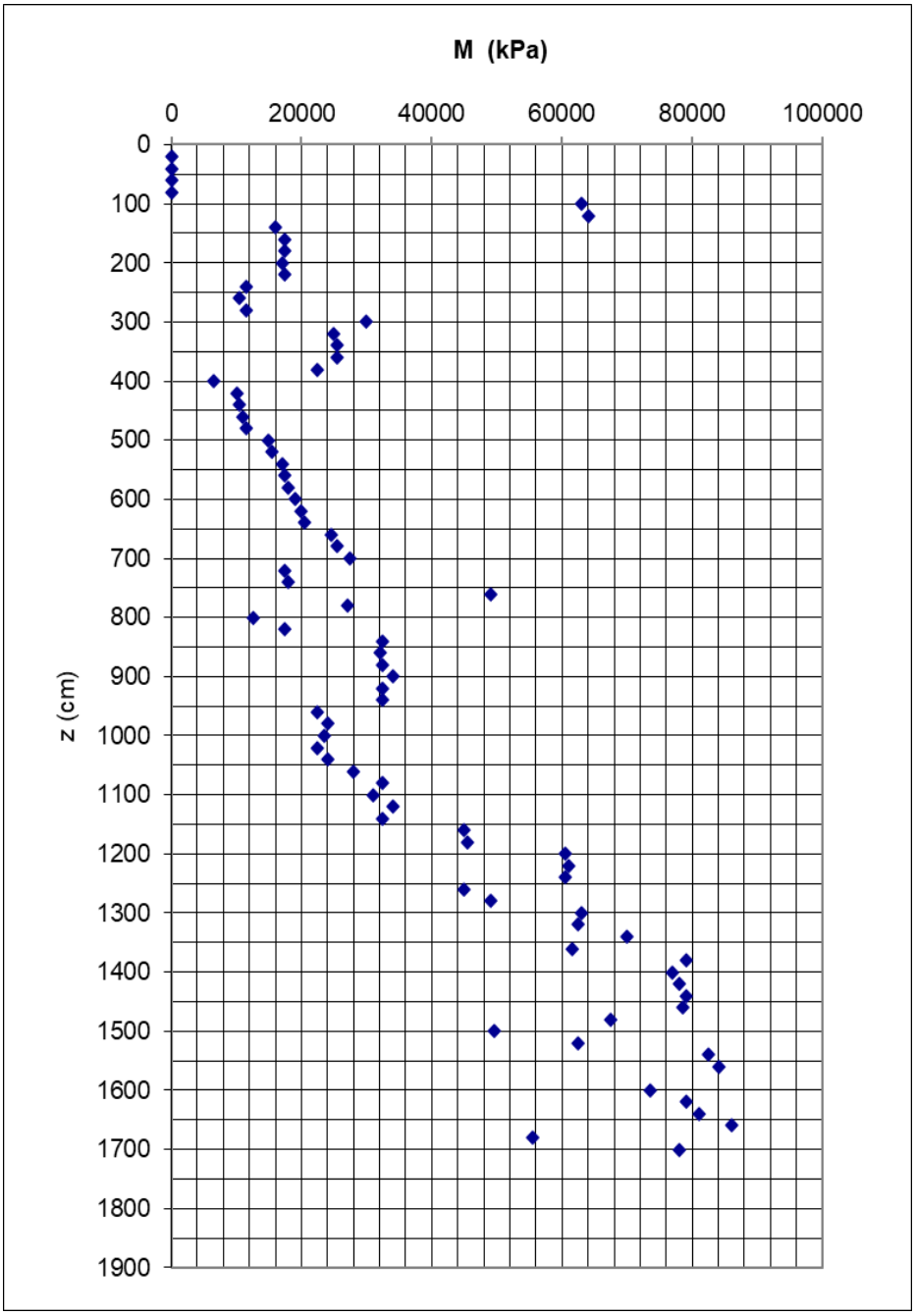
C.P.T. 5 - ANGOLO D'ATTRITO



C.P.T. 5 – INDICE DI COMPORTAMENTO DEL TERRENO Ic

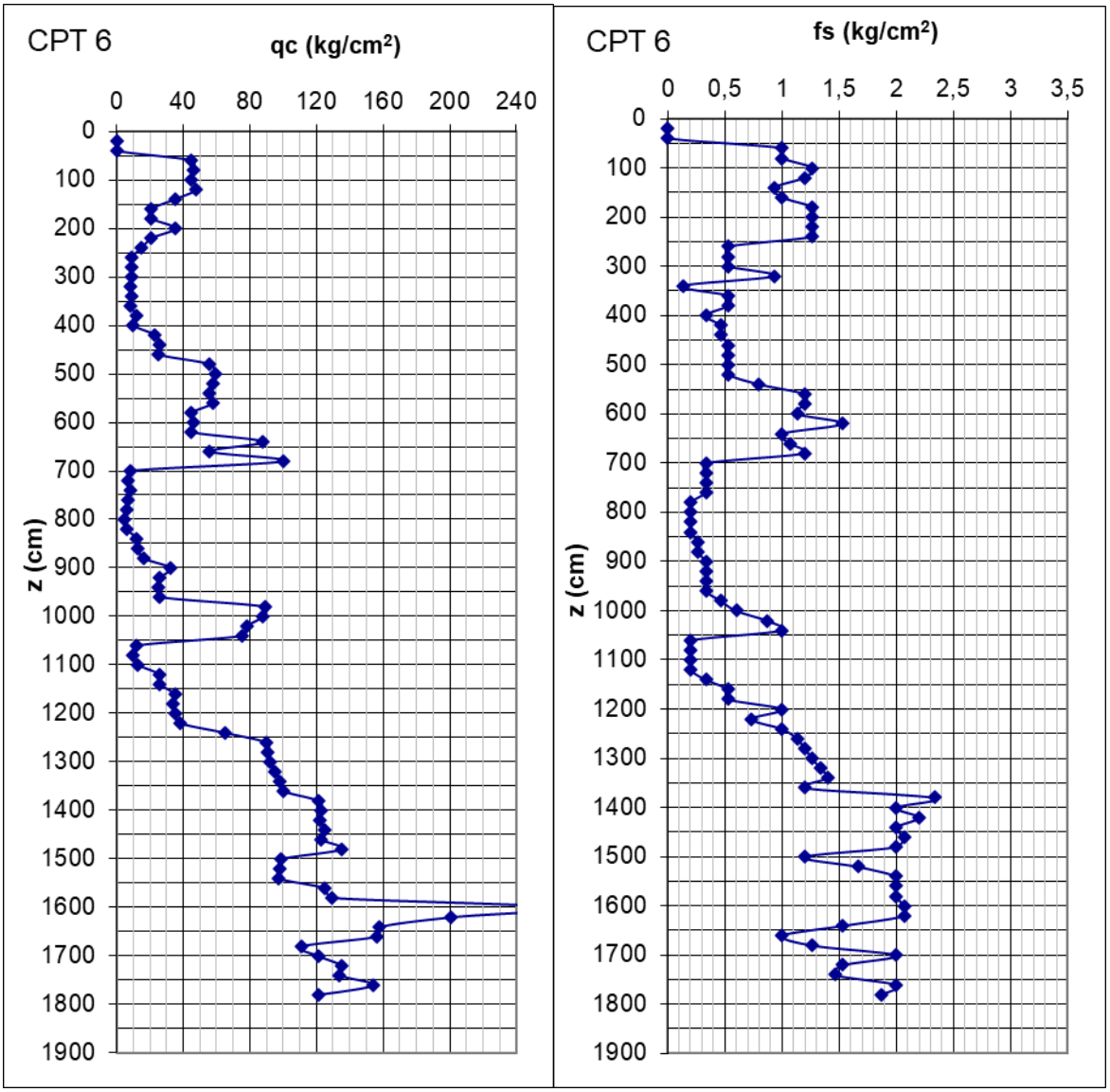


C.P.T. 5 – MODULO DI CONFINAMENTO M

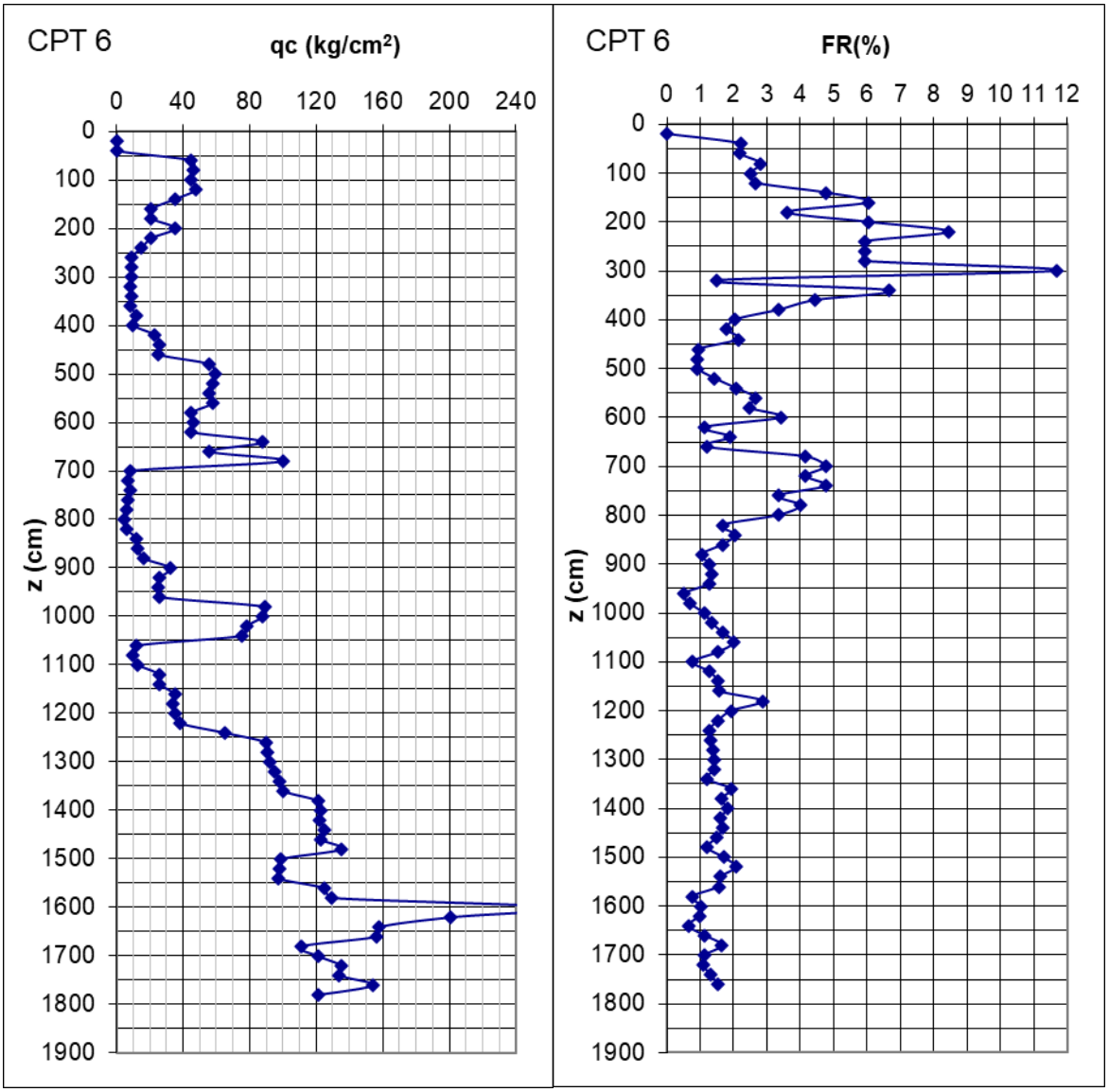


8.1.6 C.P.T. 6

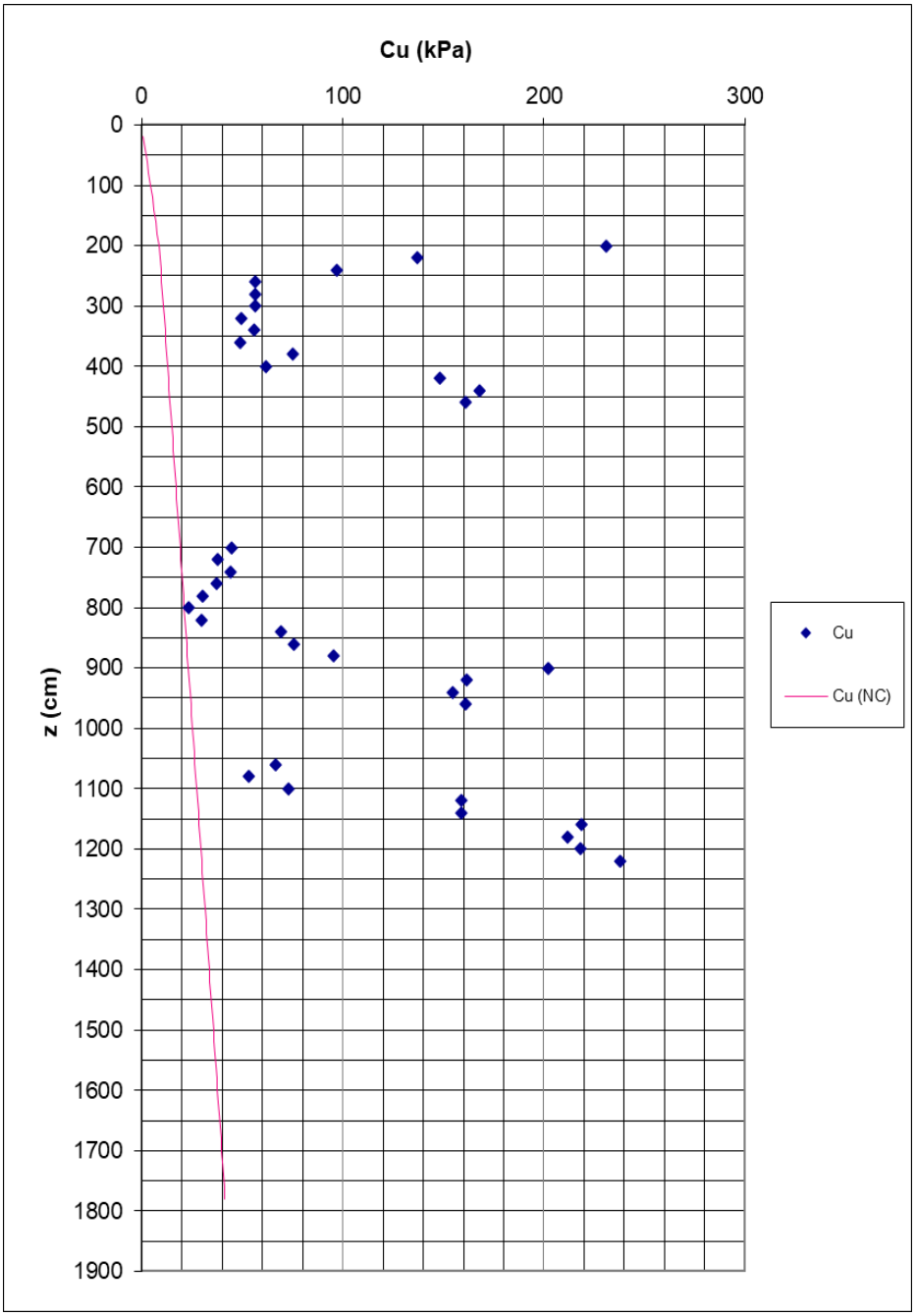
C.P.T. 6 - QC/Fs



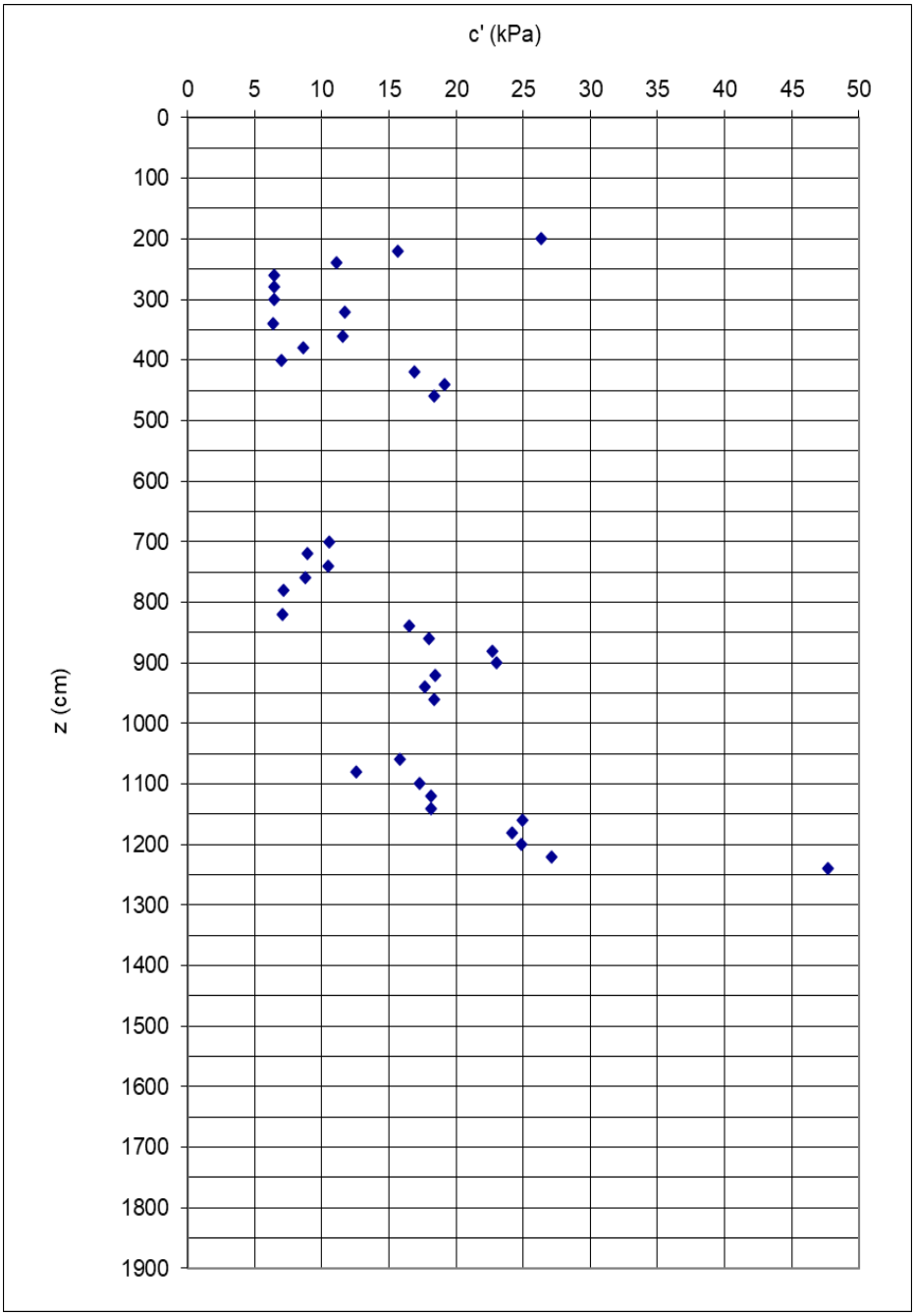
C.P.T. 6 - QC/Fr


CPT 6
qc (kg/cm²)
0 40 80 120 160 200 240
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900
CPT 6
FR(%)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900

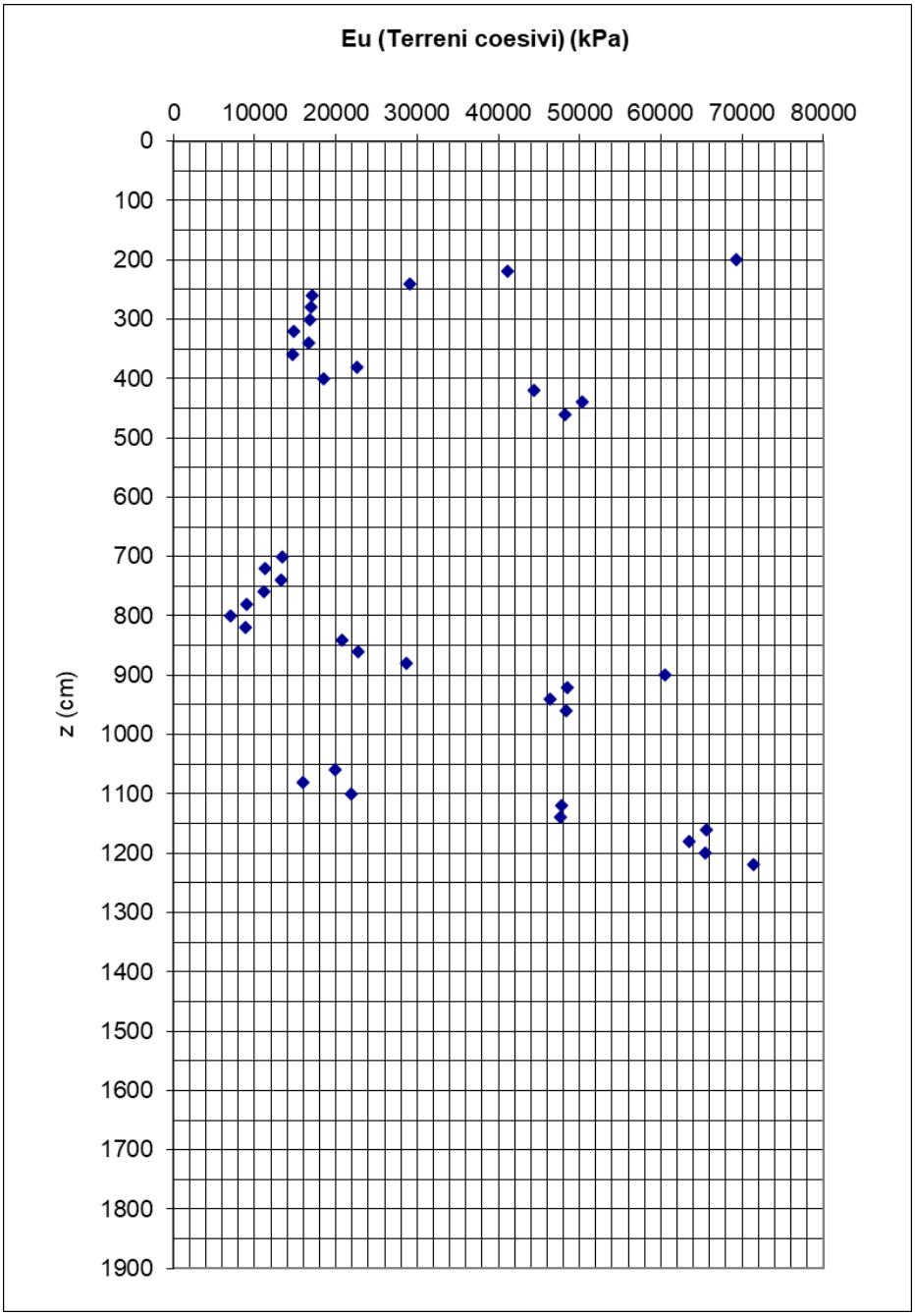
C.P.T. 6 – COESIONE NON DRENATA Cu



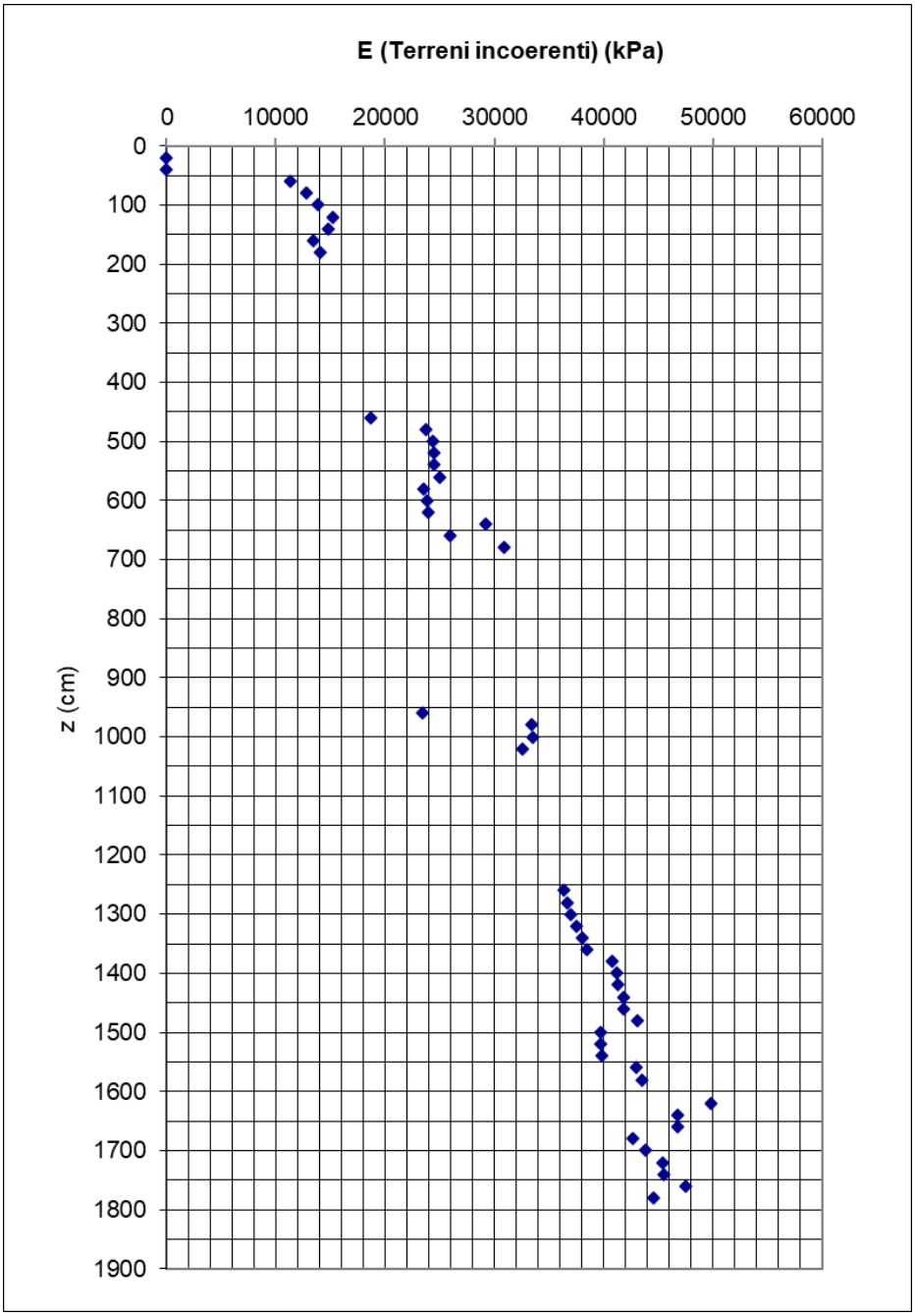
C.P.T. 6 – COESIONE EFFICACE C'



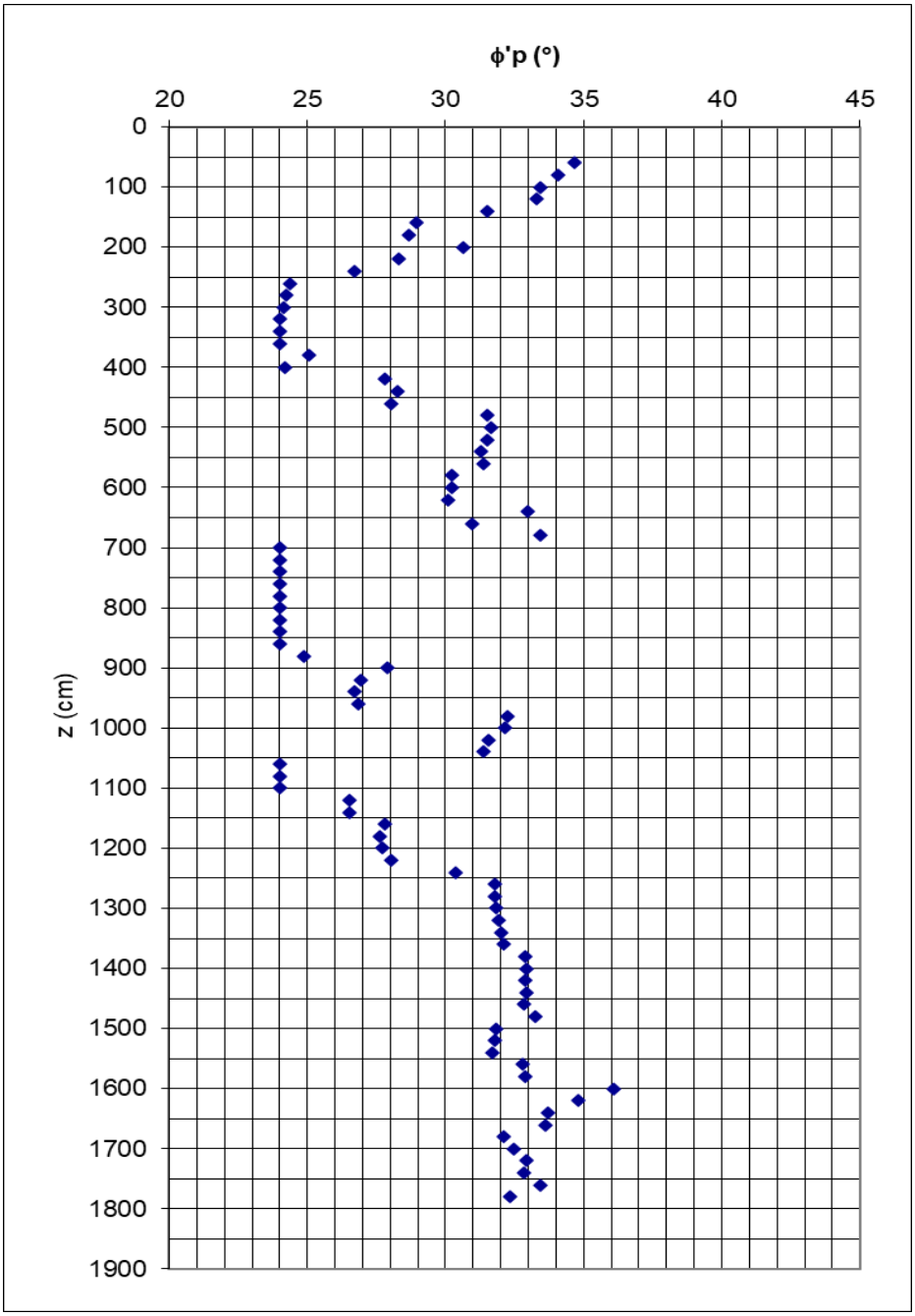
C.P.T. 6 - MODULO ELASTICO NON DRENATO Eu



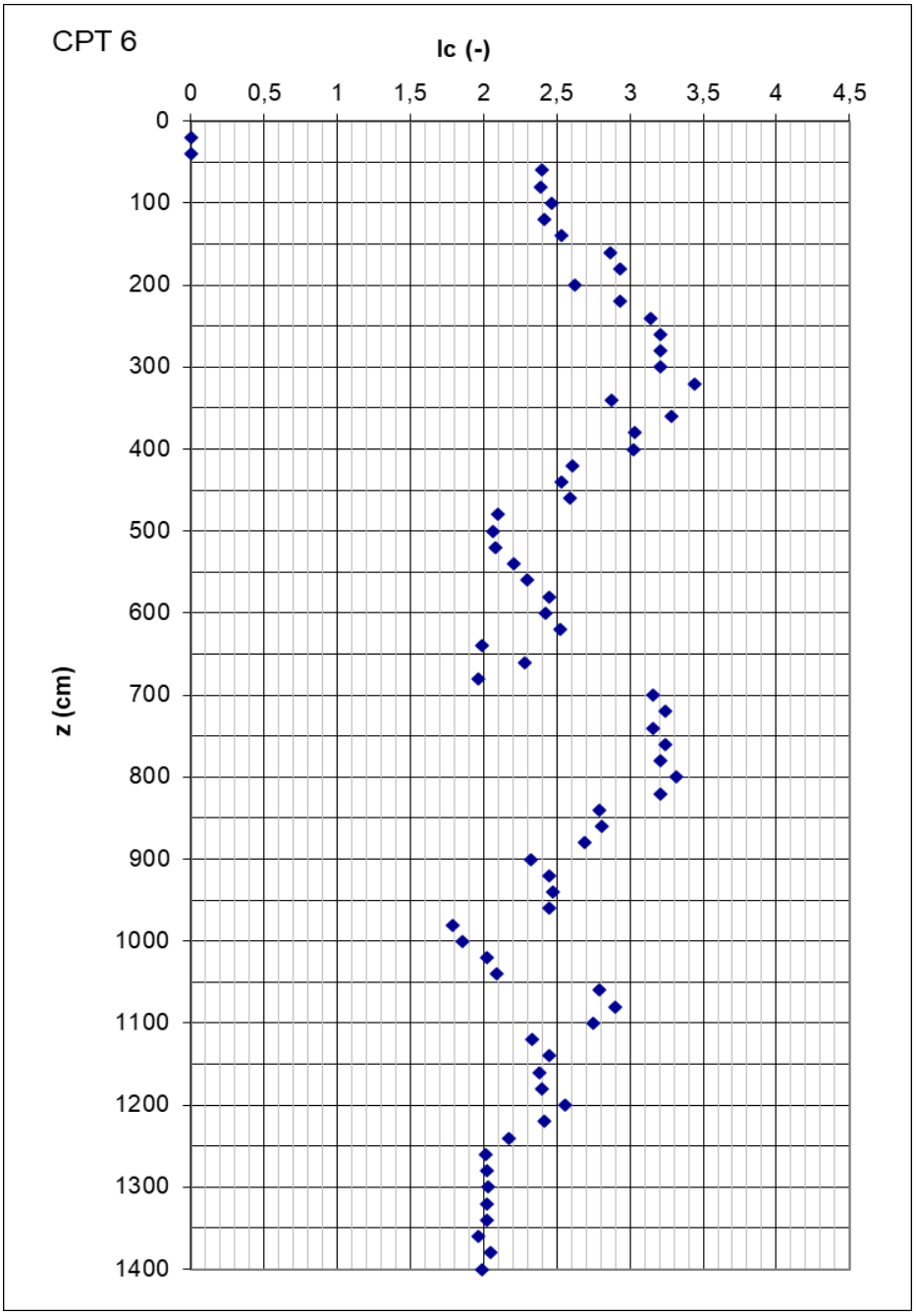
C.P.T. 6 - MODULO ELASTICO E



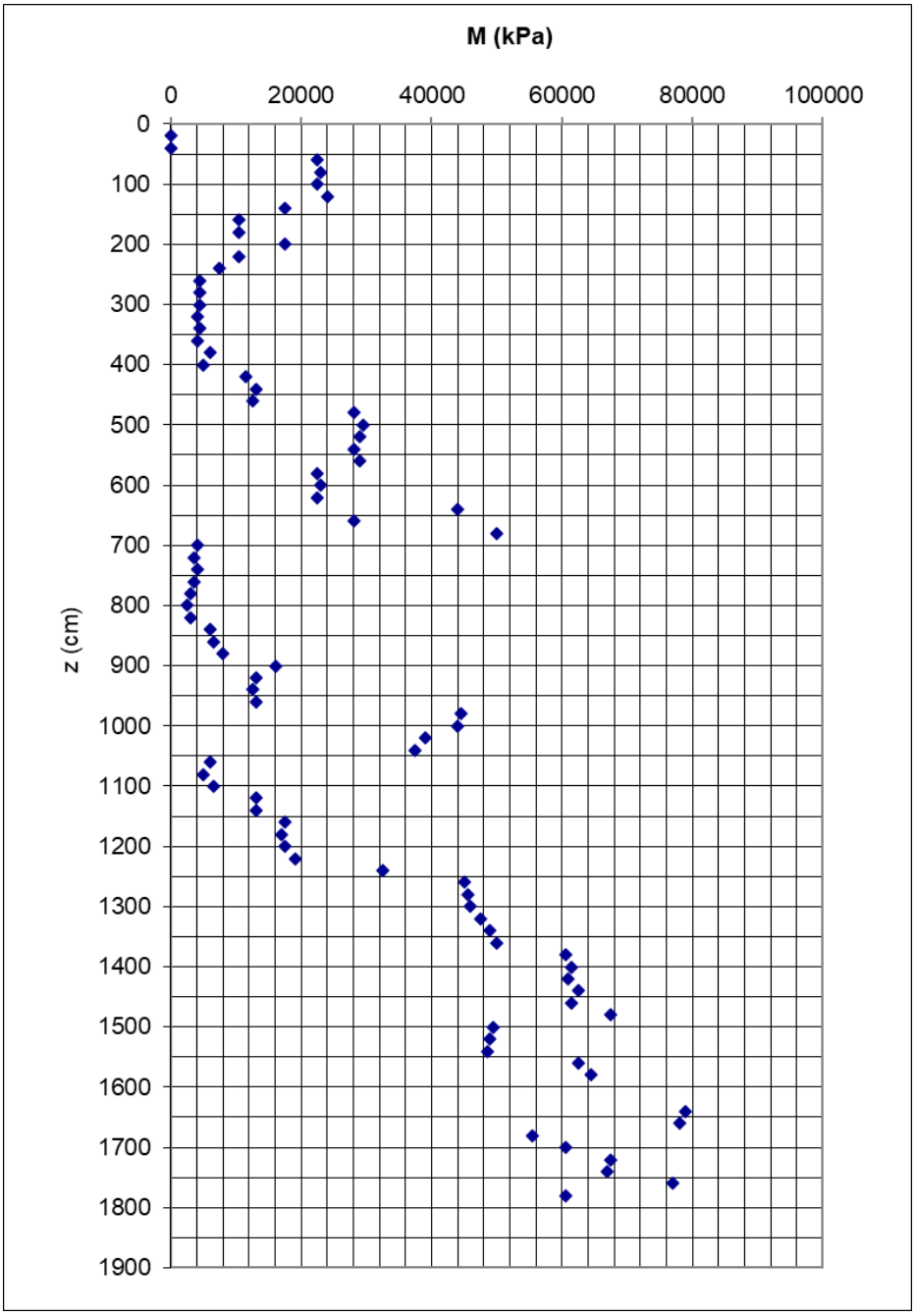
C.P.T. 6 - ANGOLO D'ATTRITO



C.P.T. 6 – INDICE DI COMPORTAMENTO DEL TERRENO Ic

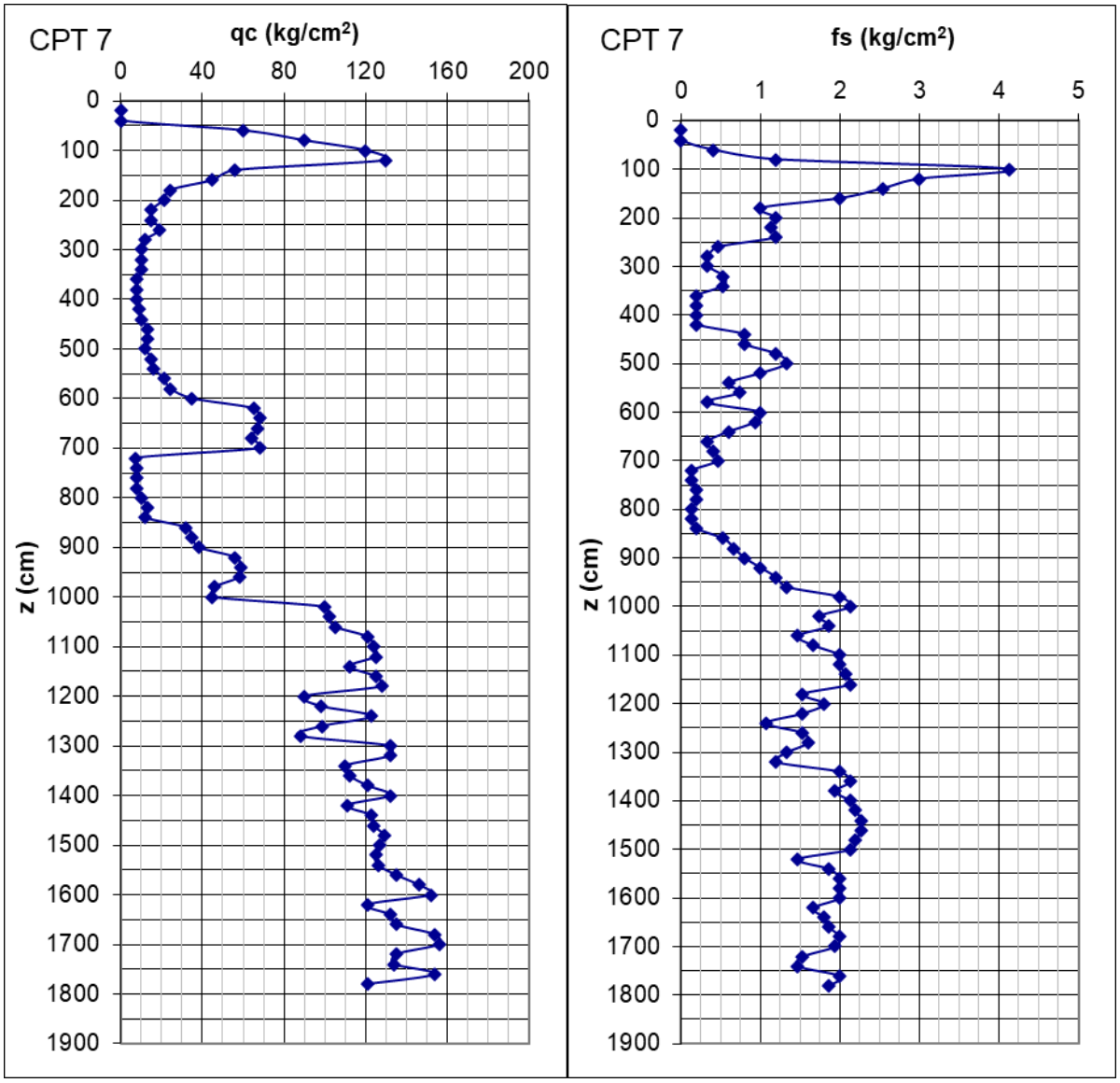


C.P.T. 6 – MODULO DI CONFINAMENTO M

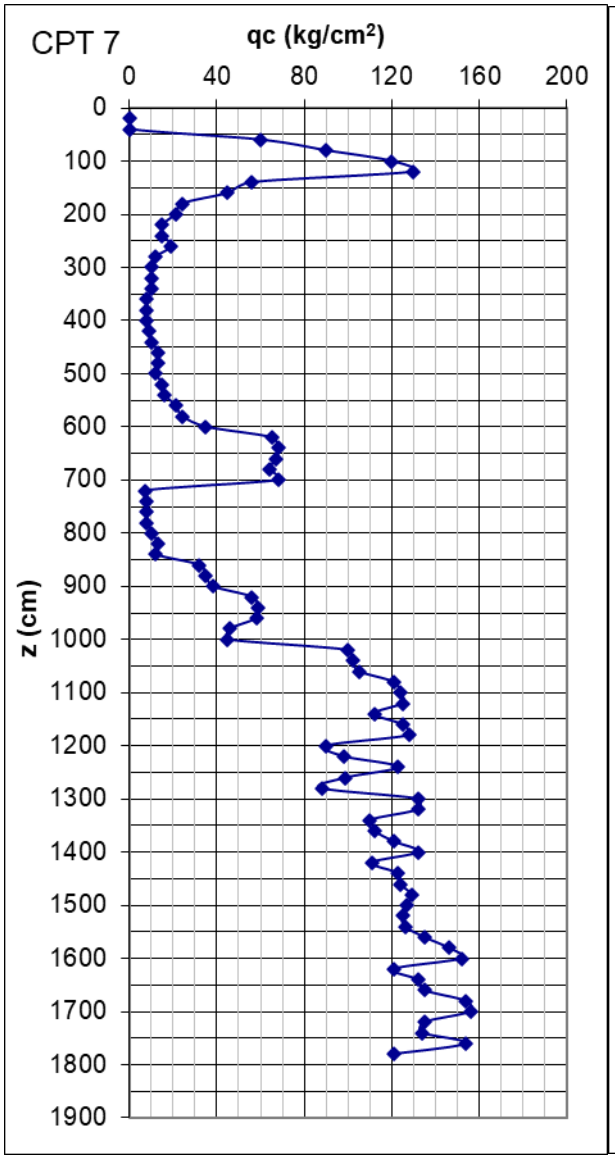


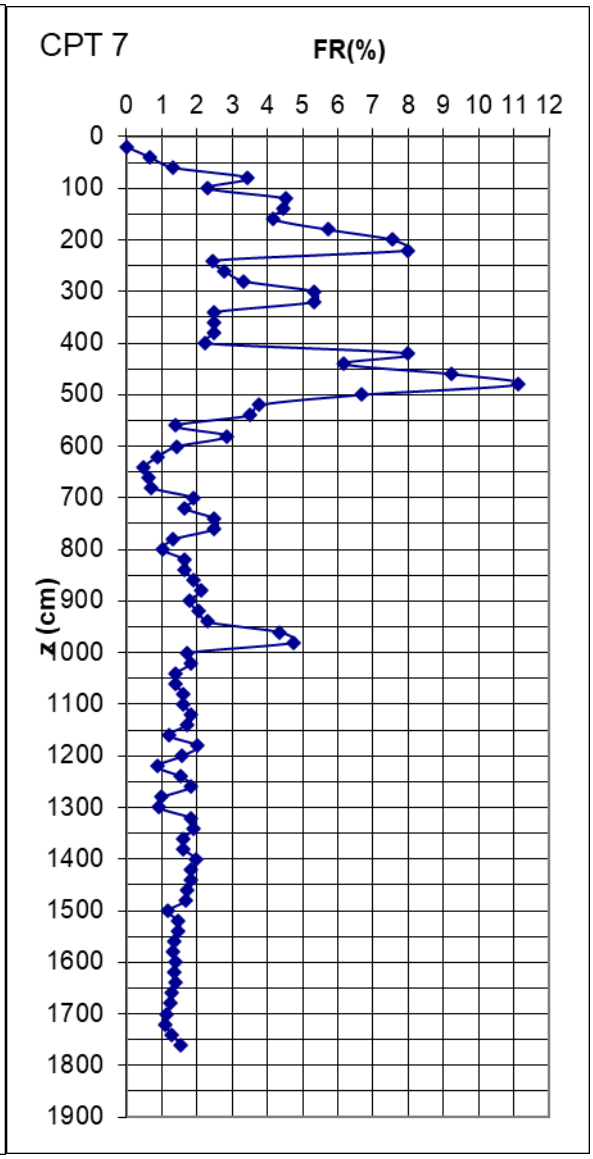
8.1.7 C.P.T. 7

C.P.T. 7 - QC/Fs

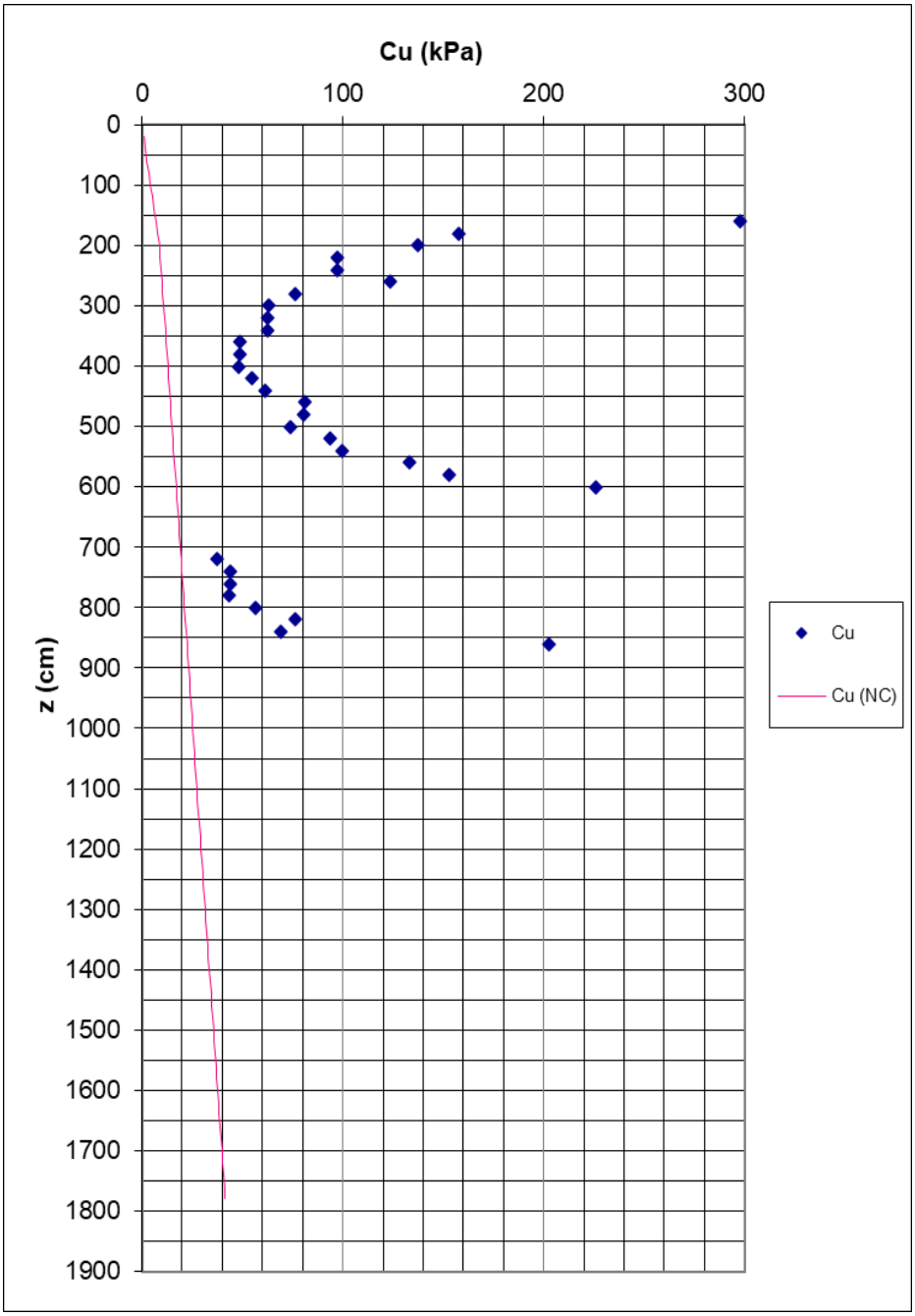


C.P.T. 7 - QC/Fr

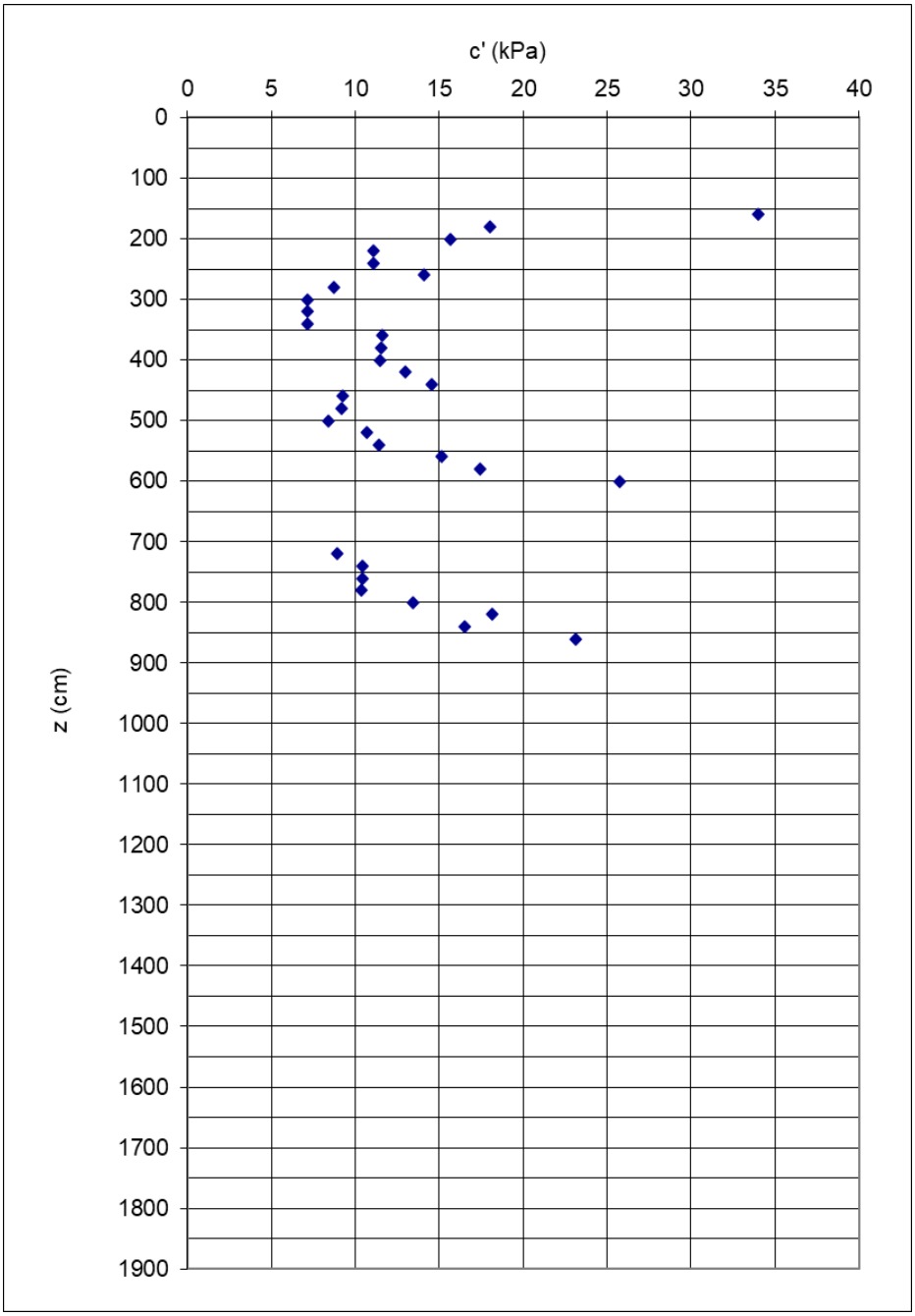

CPT 7
qc (kg/cm²)
0 40 80 120 160 200
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900


CPT 7
FR(%)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900

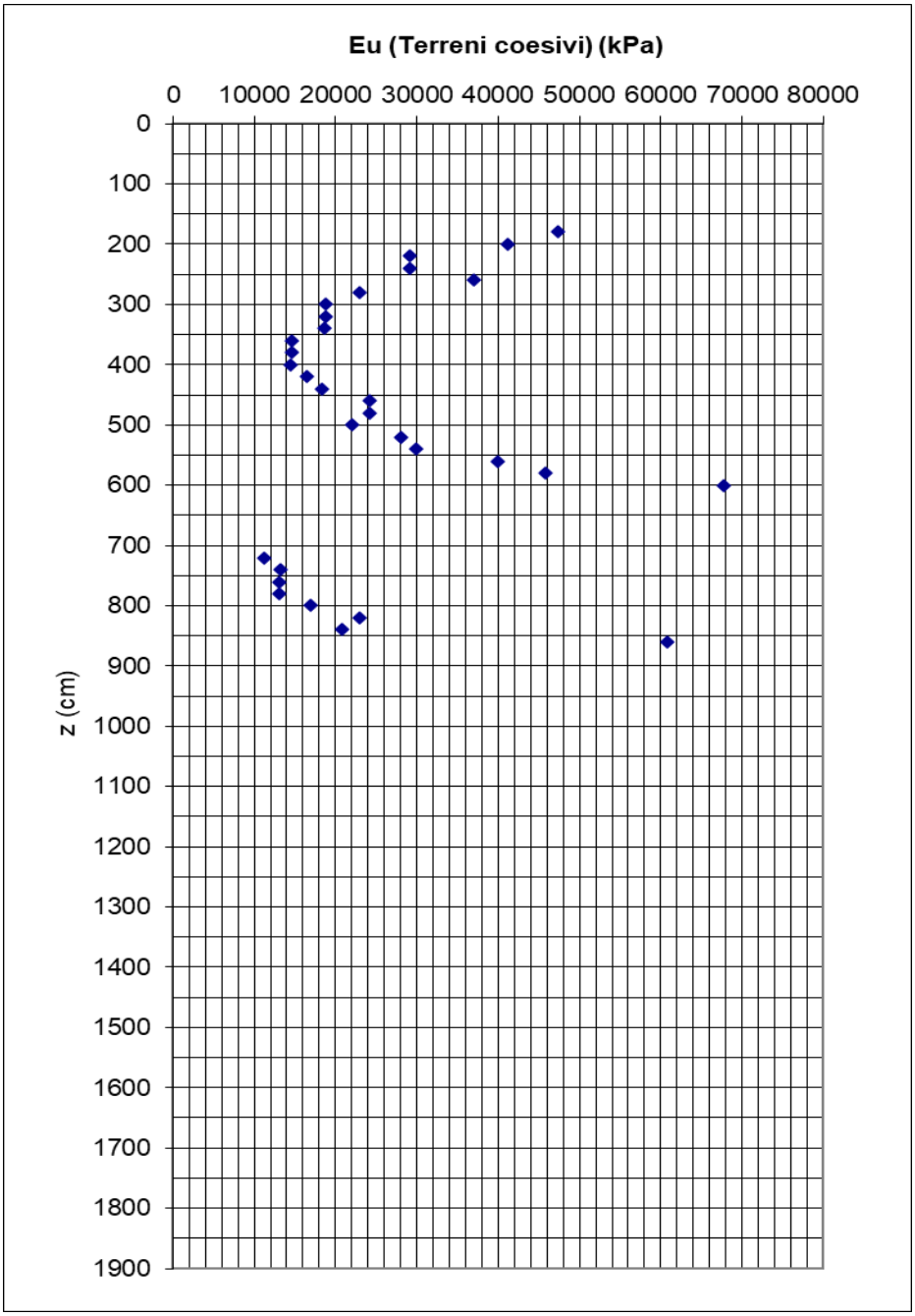
C.P.T. 7 – COESIONE NON DRENATA Cu



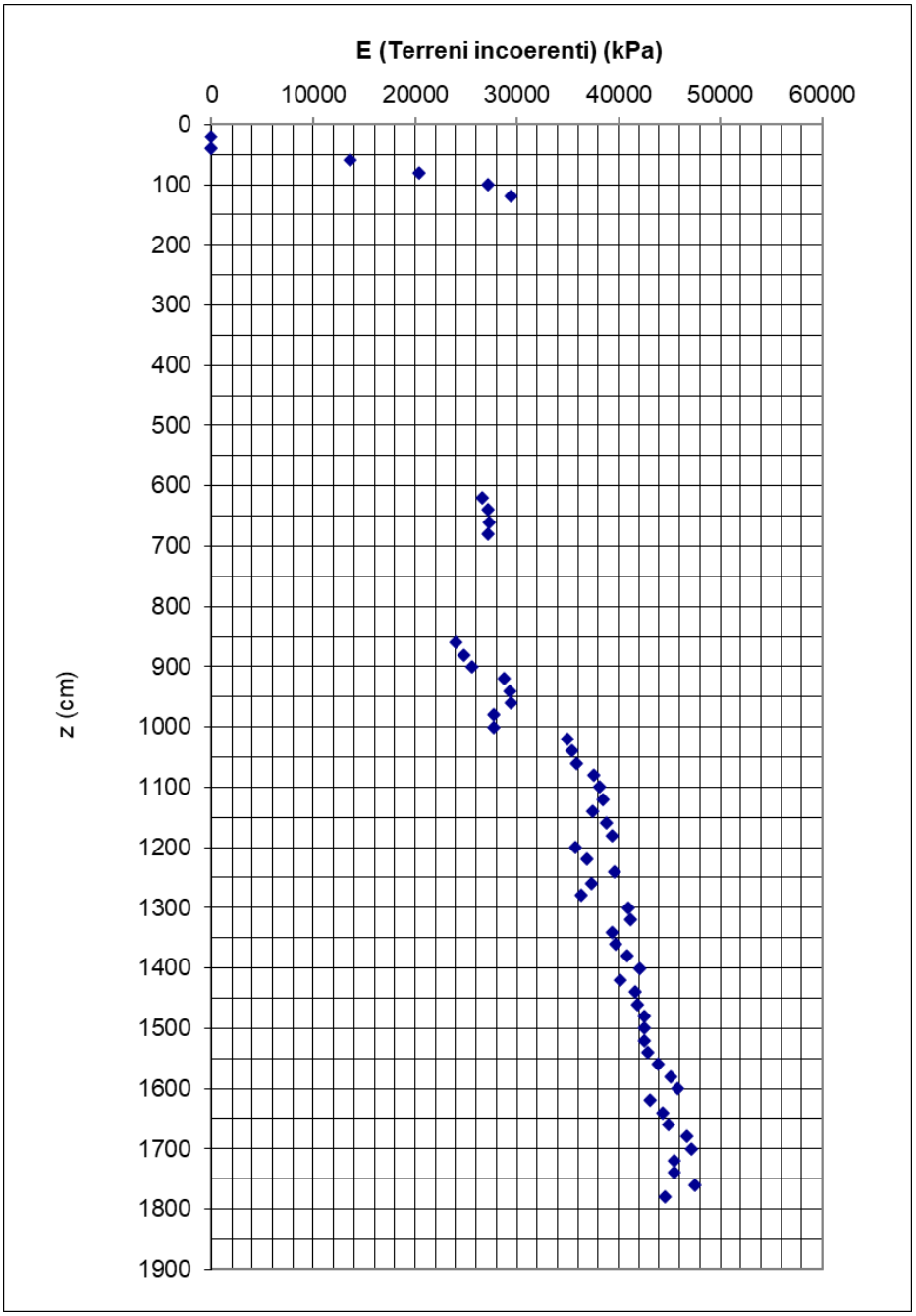
C.P.T. 7 – COESIONE EFFICACE C'



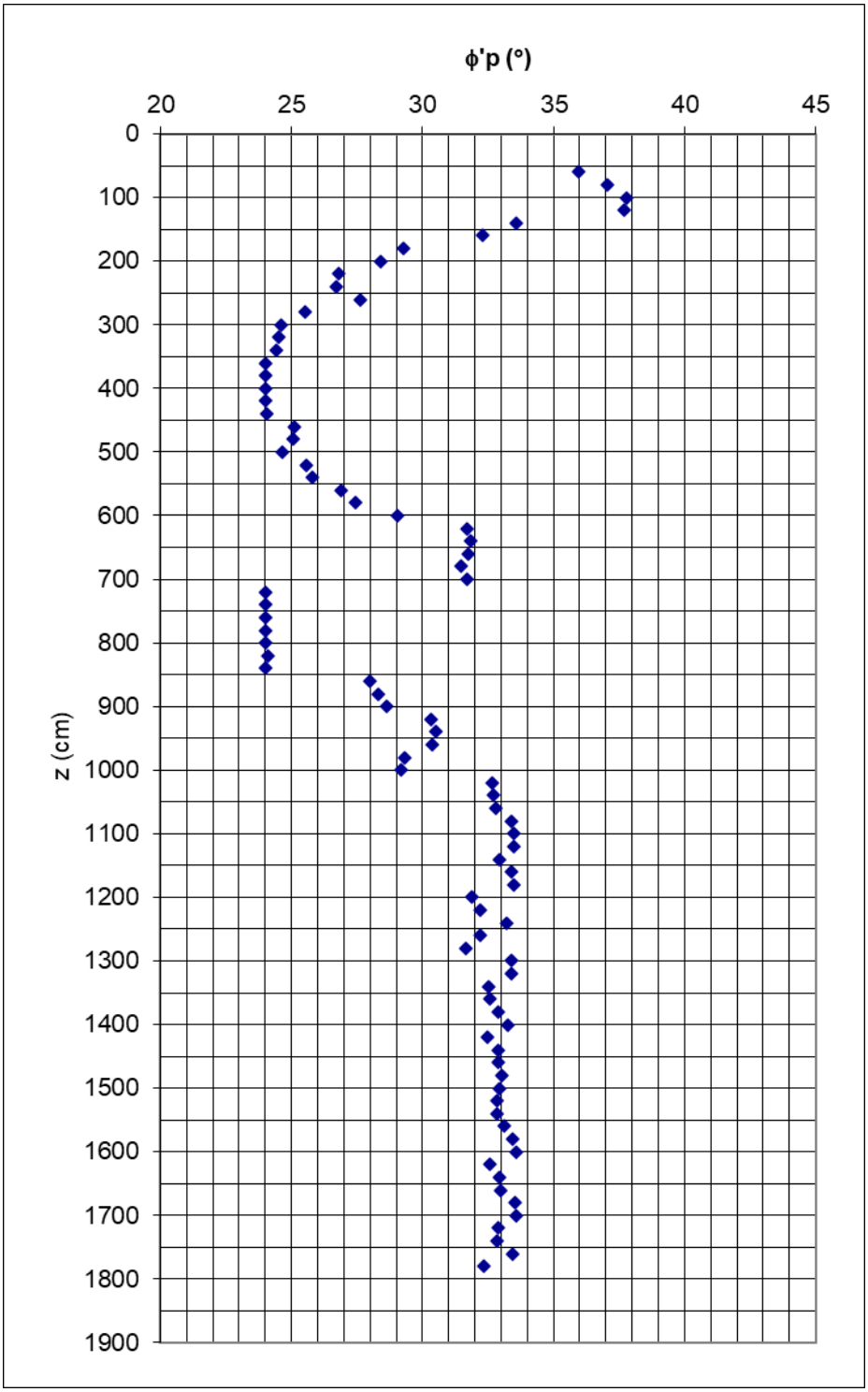
C.P.T. 7 - MODULO ELASTICO NON DRENATO Eu



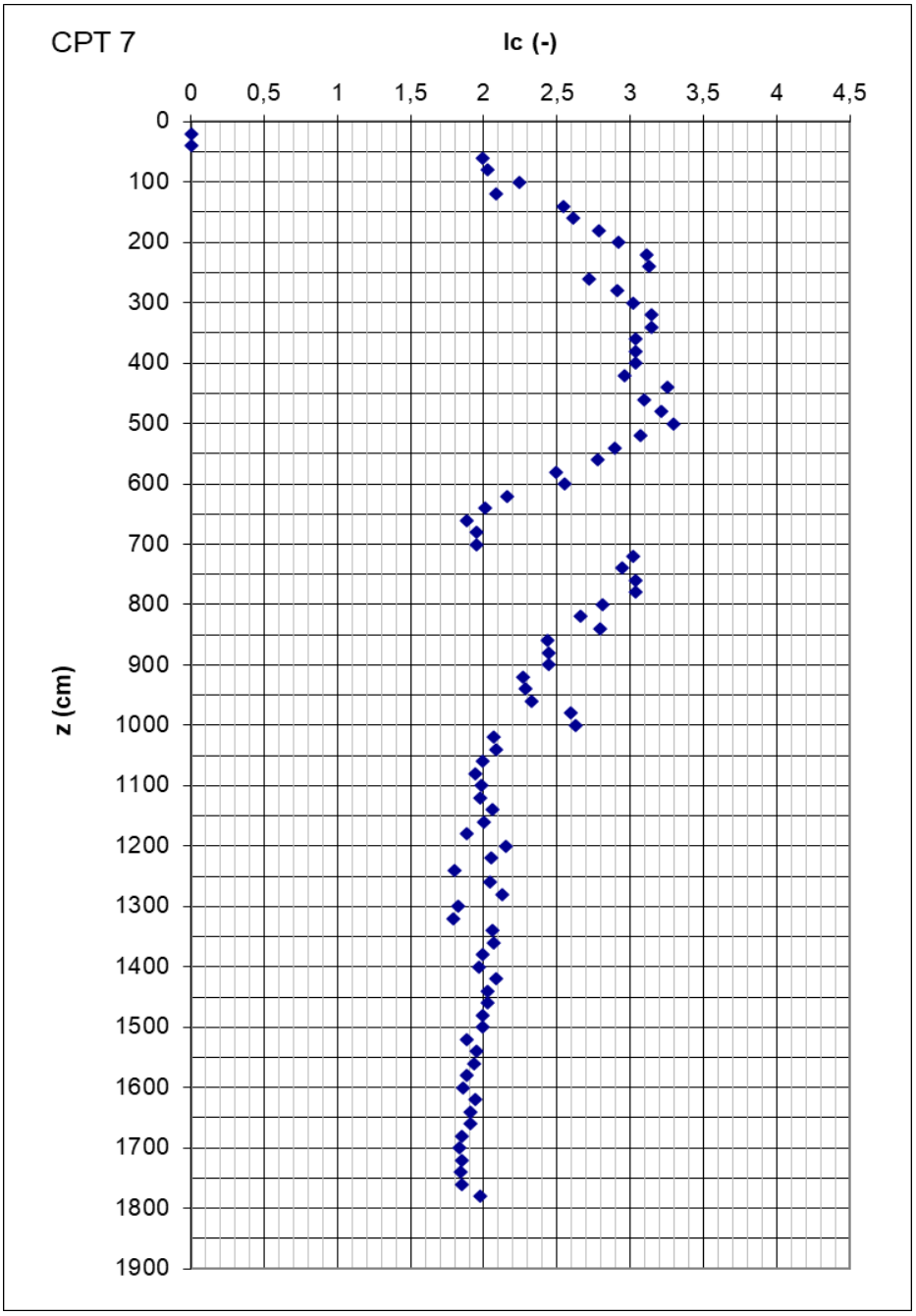
C.P.T. 7 - MODULO ELASTICO E



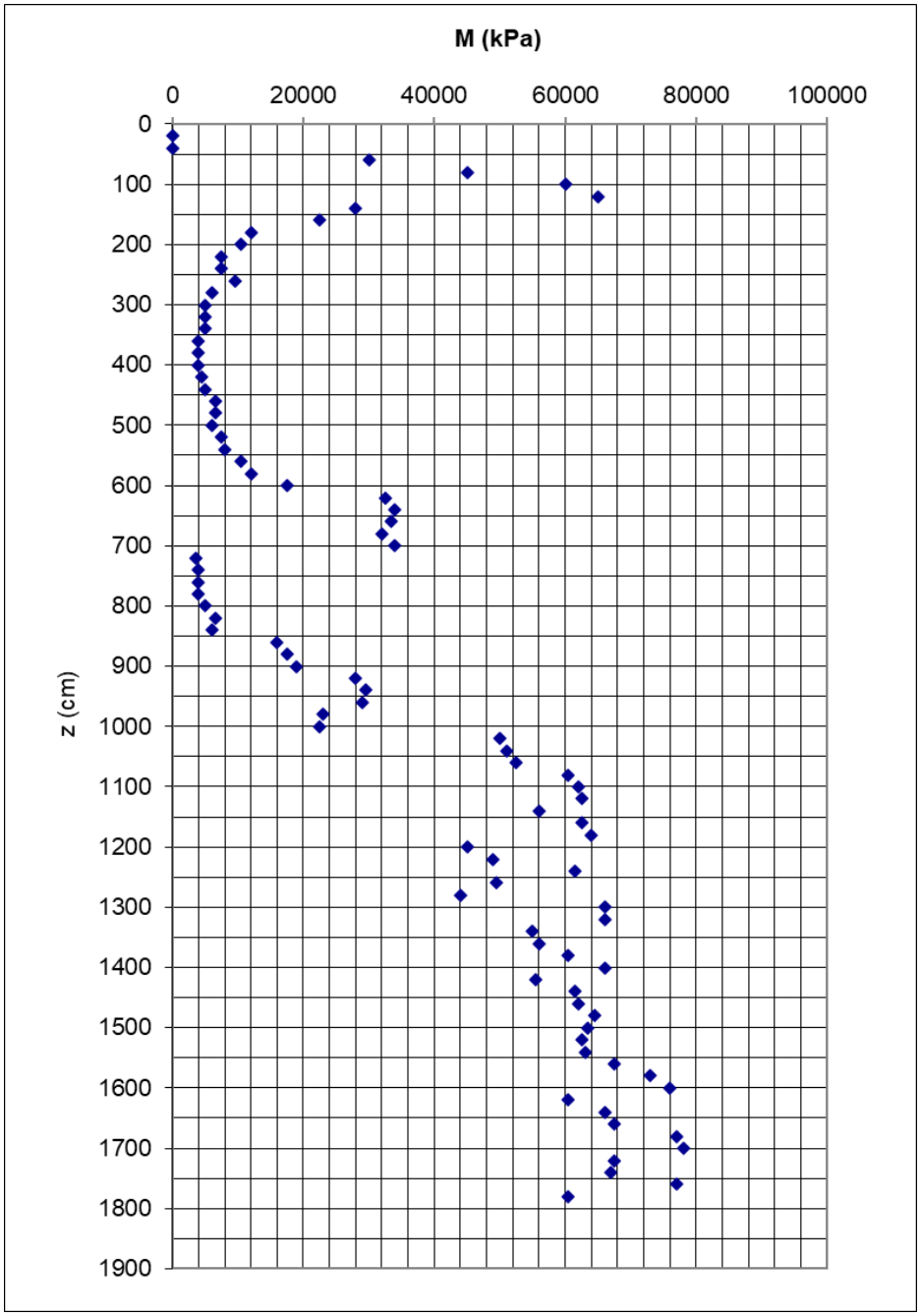
C.P.T. 7 - ANGOLO D'ATTRITO



C.P.T. 7 – INDICE DI COMPORTAMENTO DEL TERRENO Ic

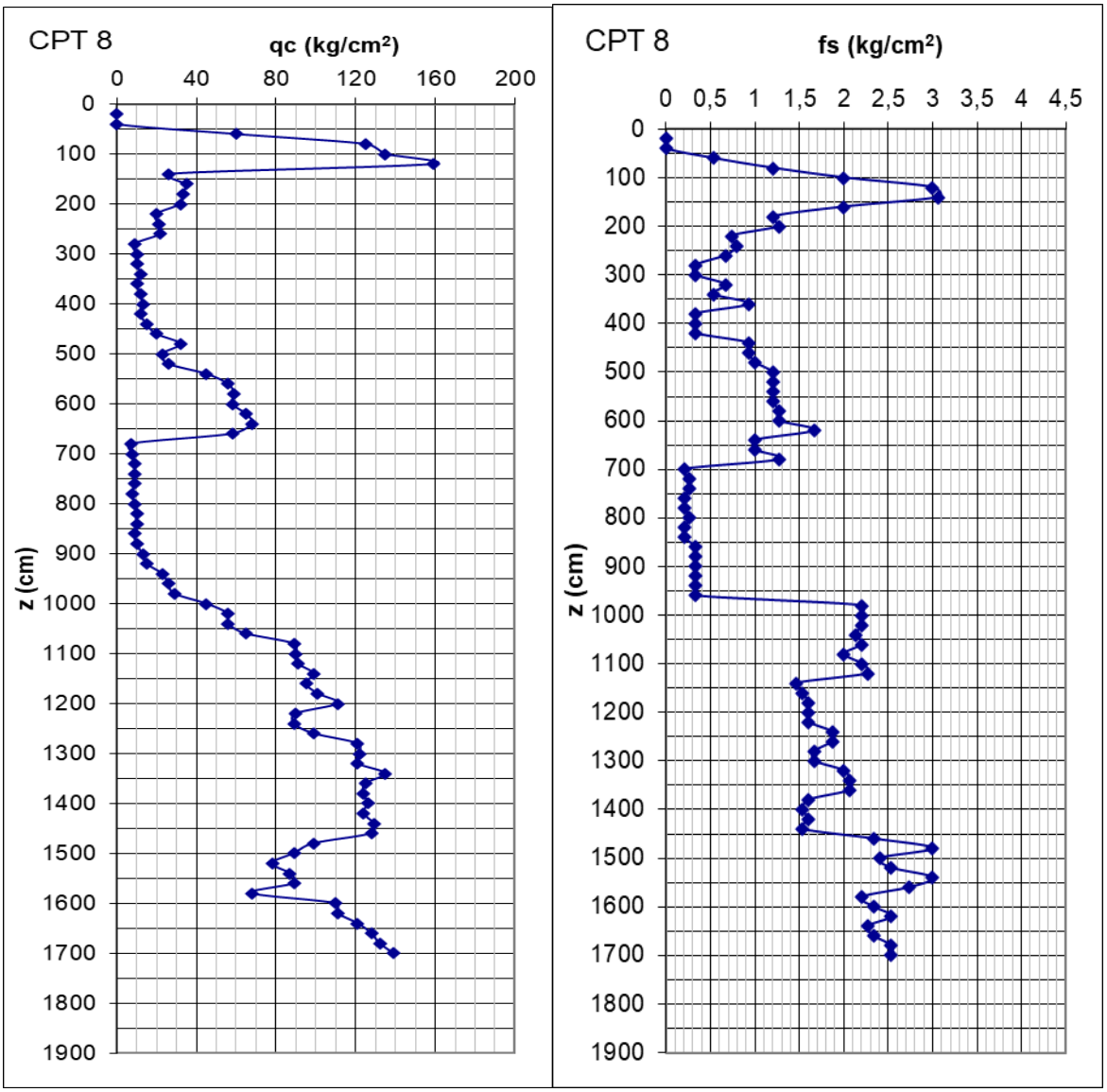


C.P.T. 7 – MODULO DI CONFINAMENTO M

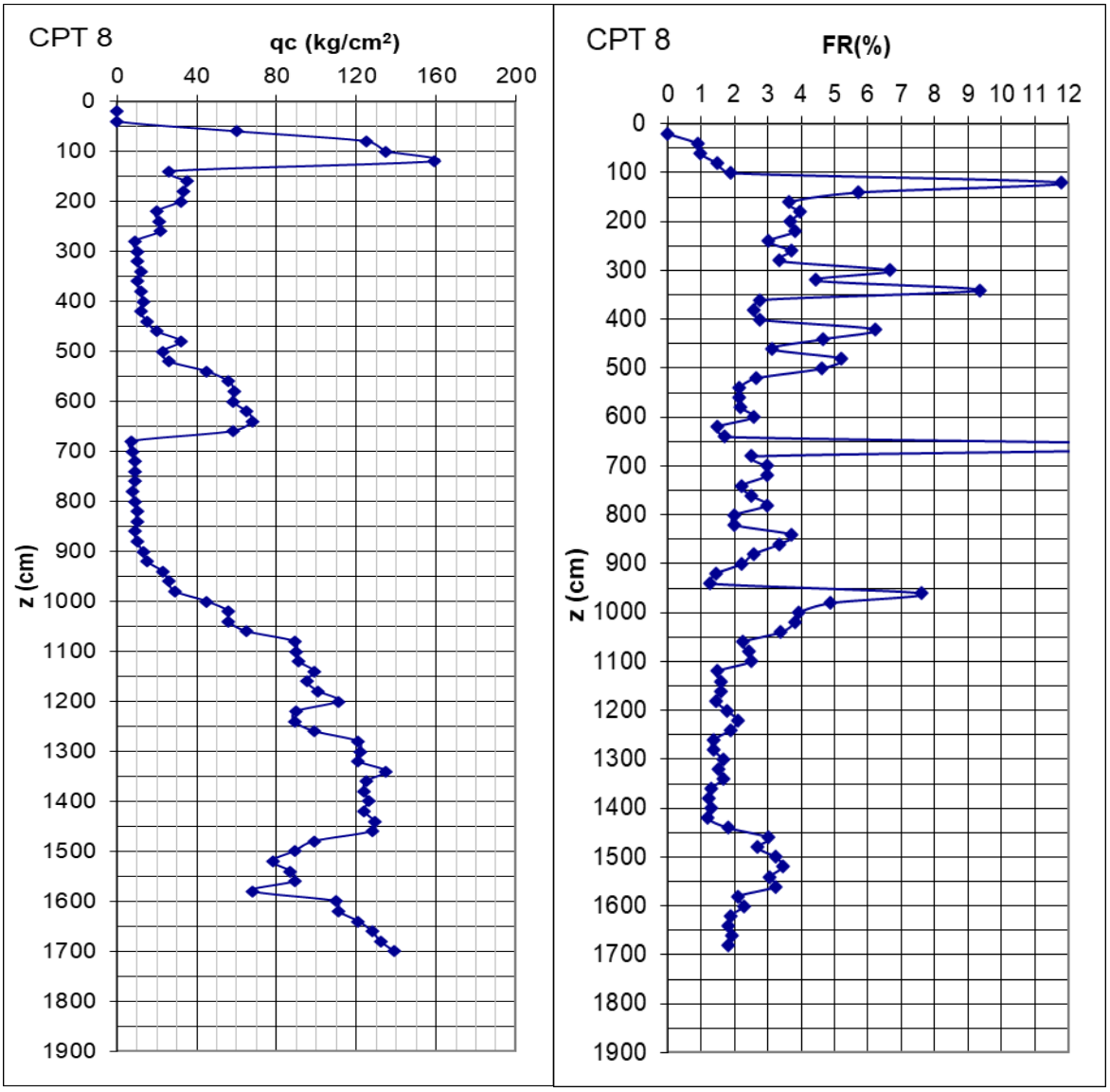


8.1.8 C.P.T. 8

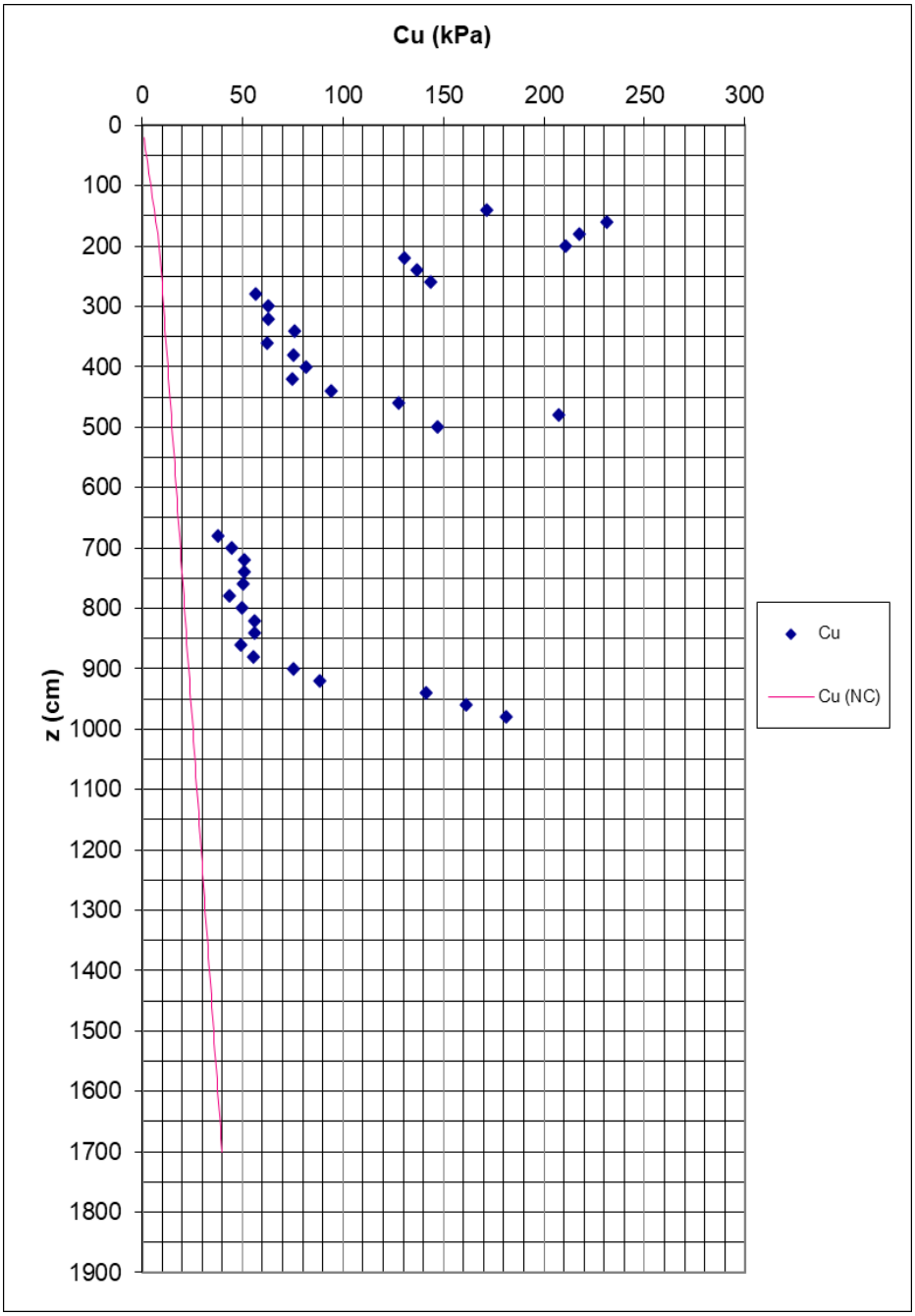
C.P.T. 8 - QC/Fs



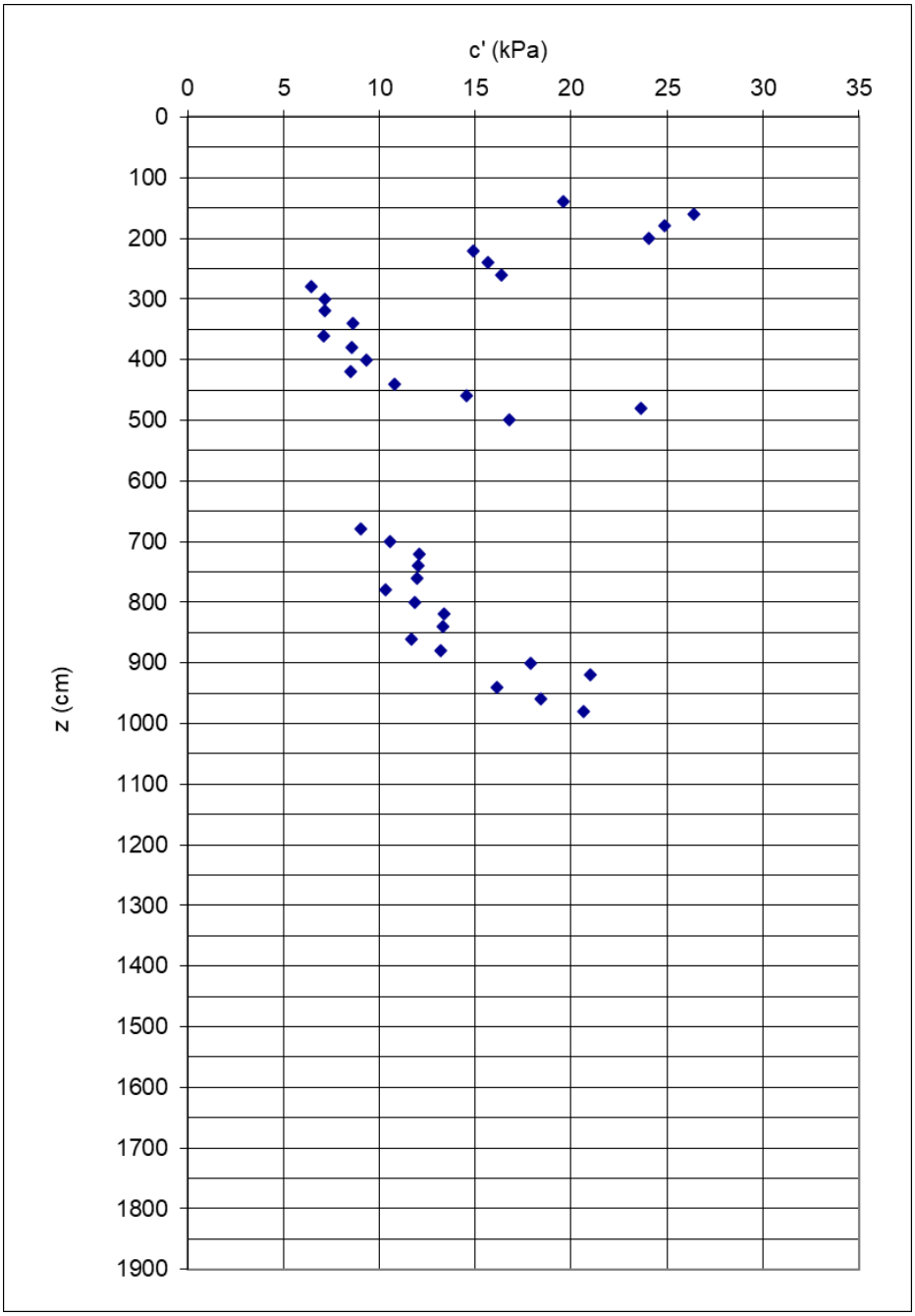
C.P.T. 8 - QC/Fr


CPT 8
qc (kg/cm²)
0 40 80 120 160 200
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900
CPT 8
FR(%)
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
z (cm)
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900

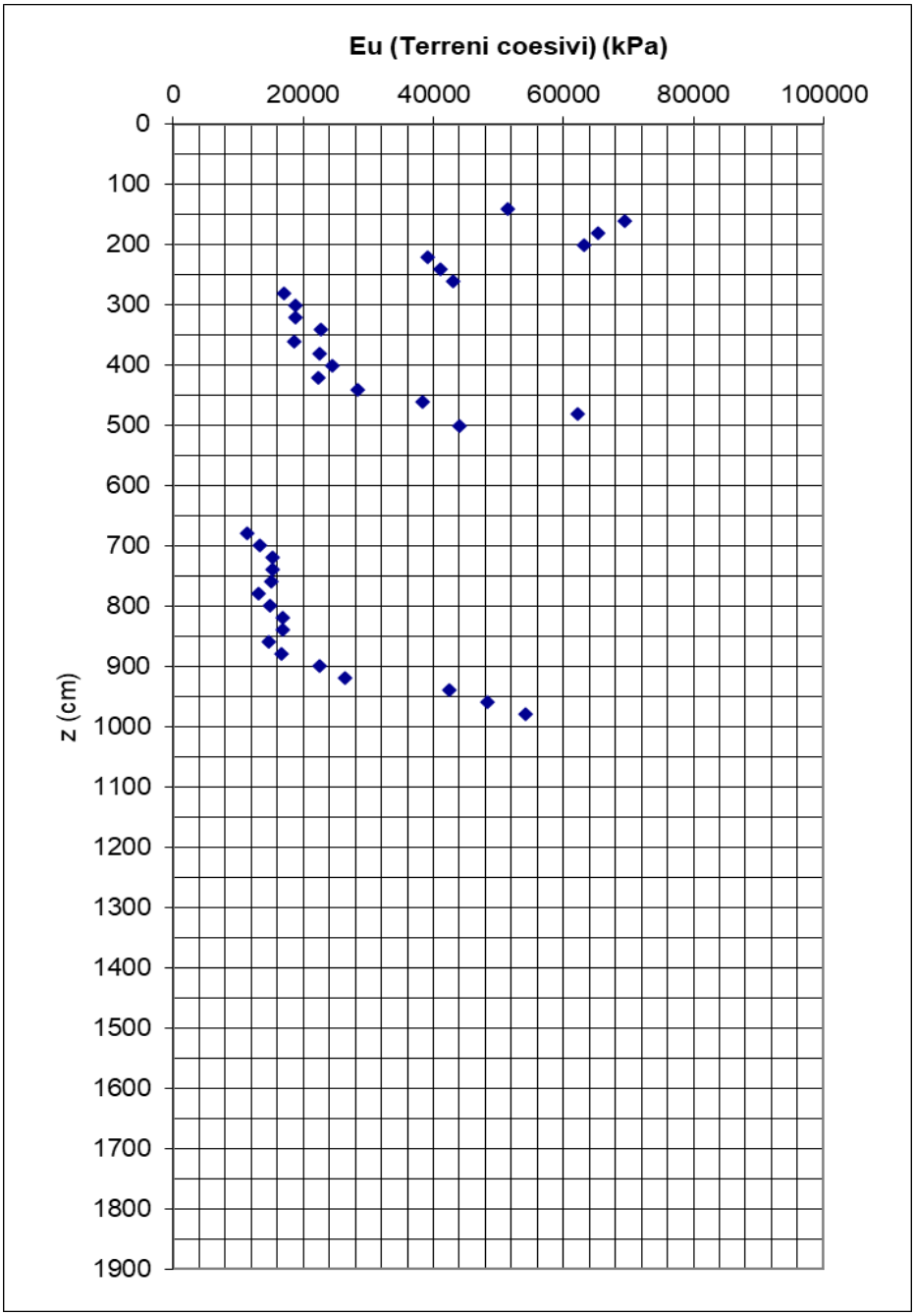
C.P.T. 8 – COESIONE NON DRENATA Cu



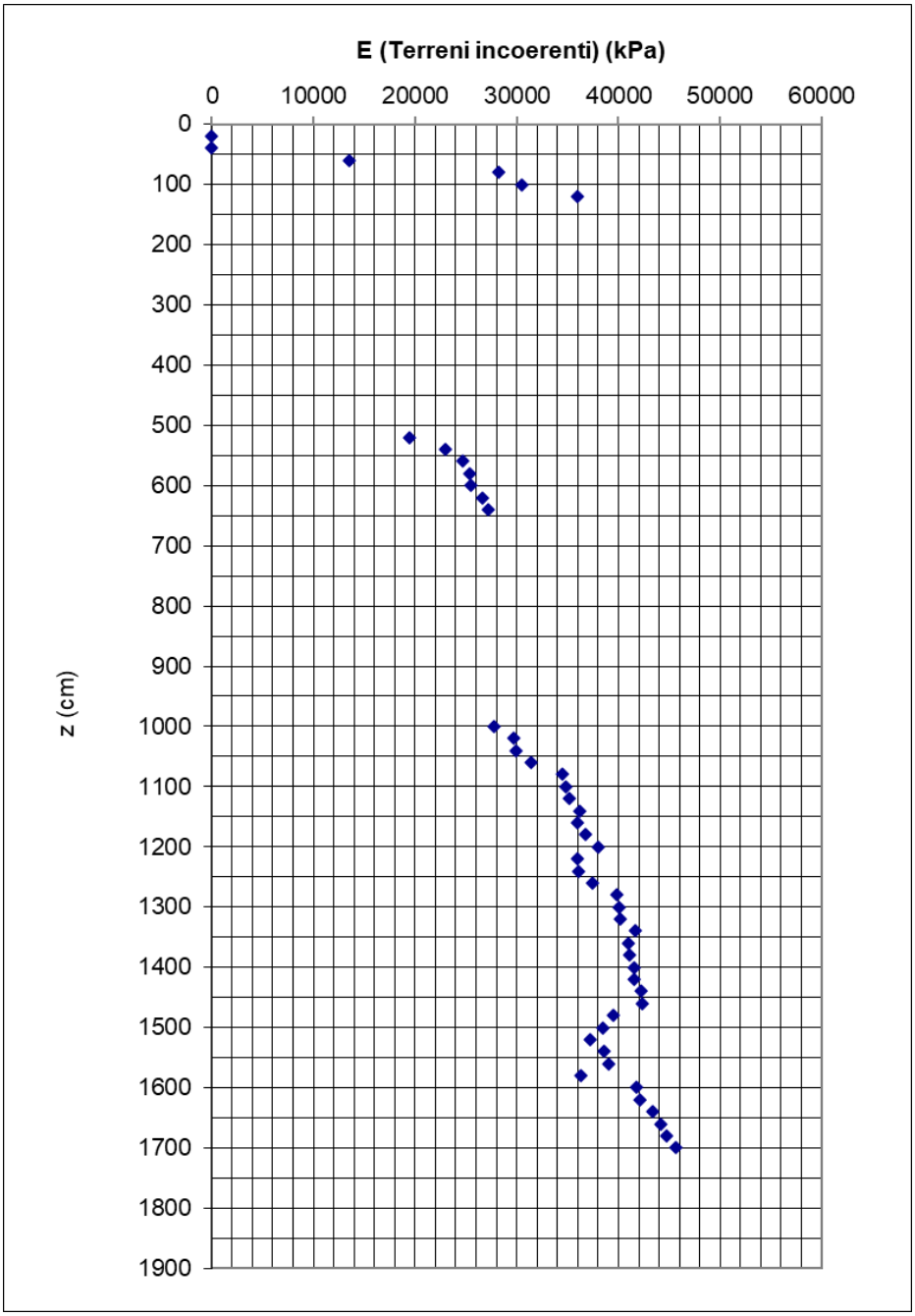
C.P.T. 8 – COESIONE EFFICACE C'



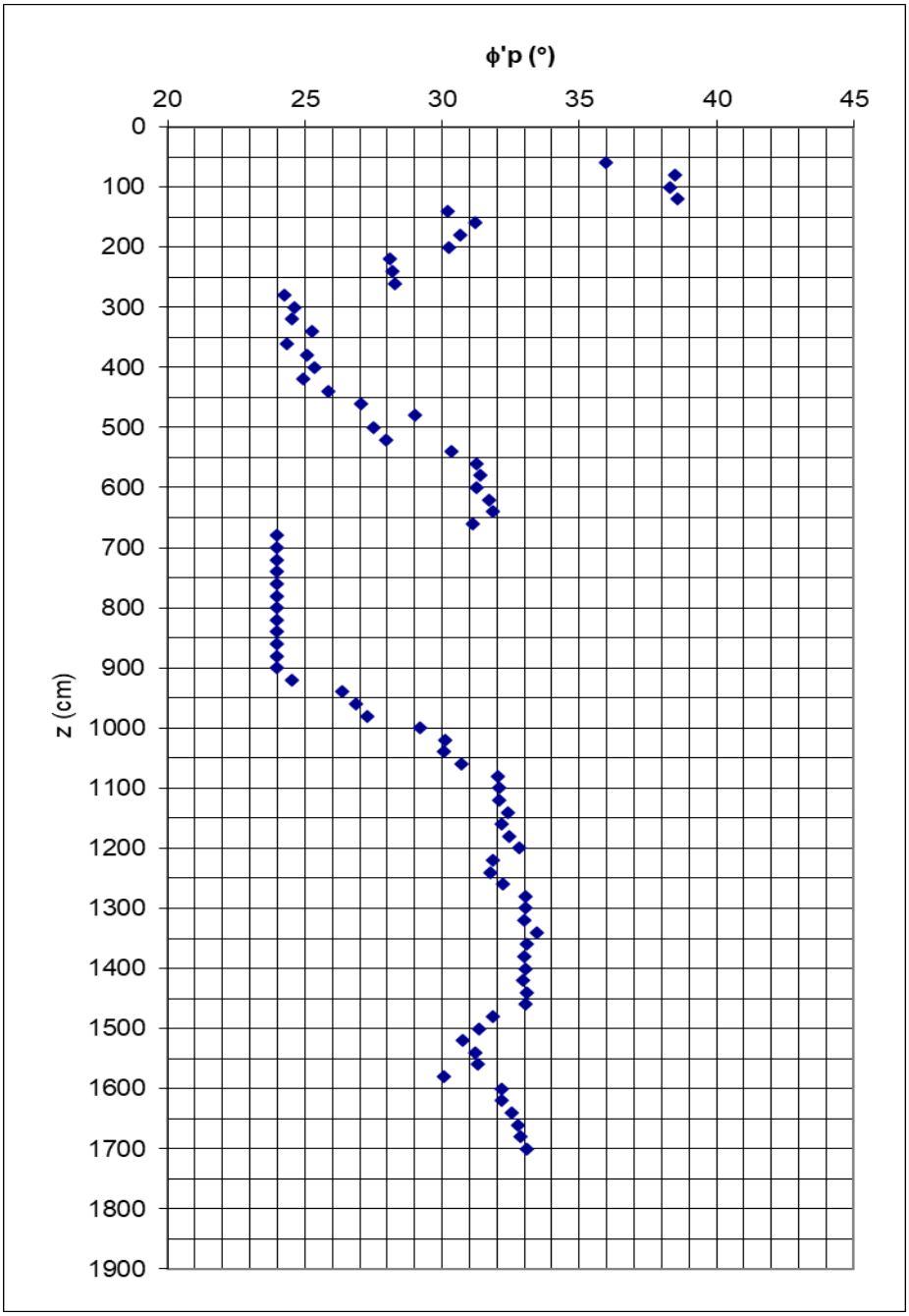
C.P.T. 8 - MODULO ELASTICO NON DRENATO Eu



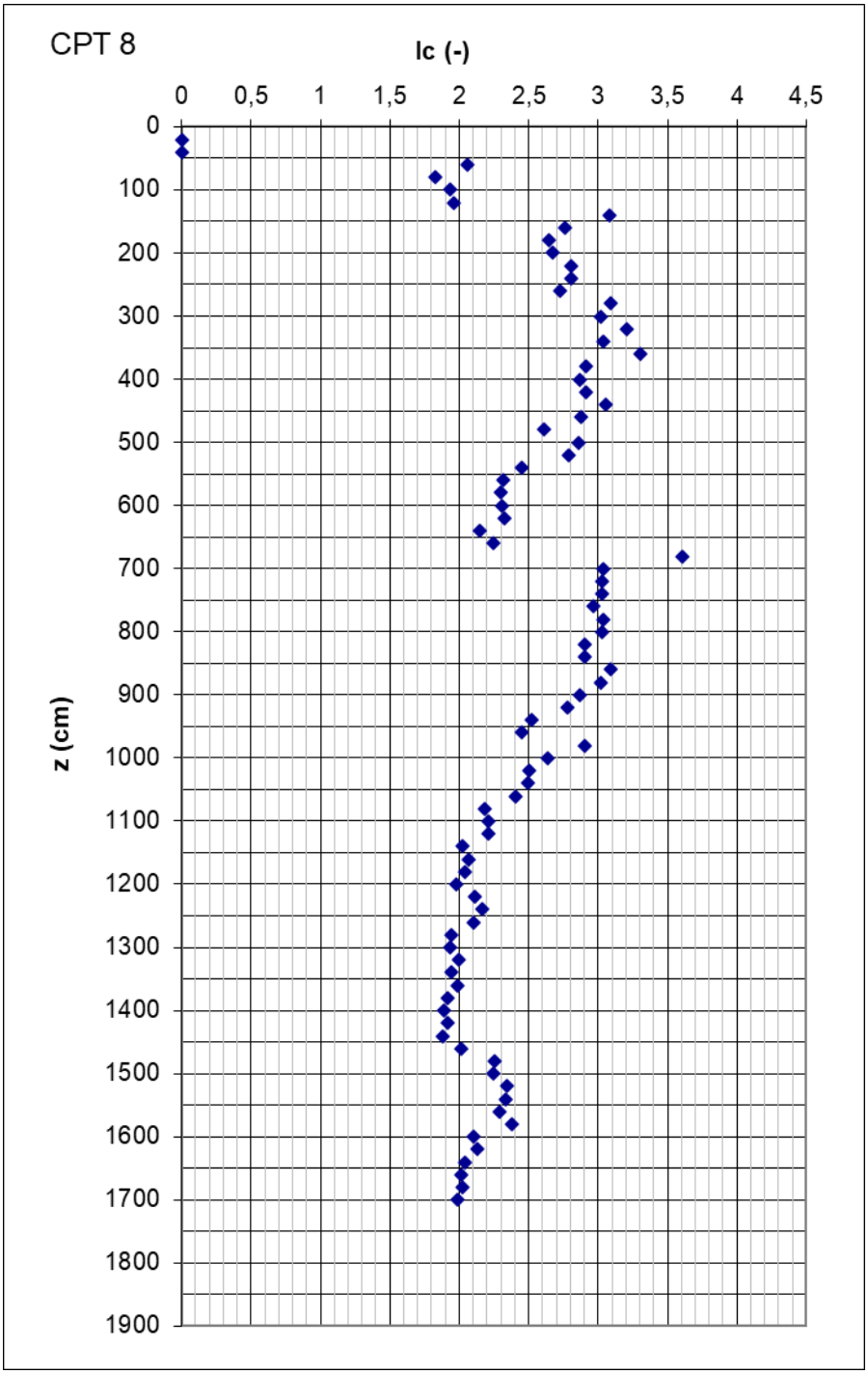
C.P.T. 8 - MODULO ELASTICO E



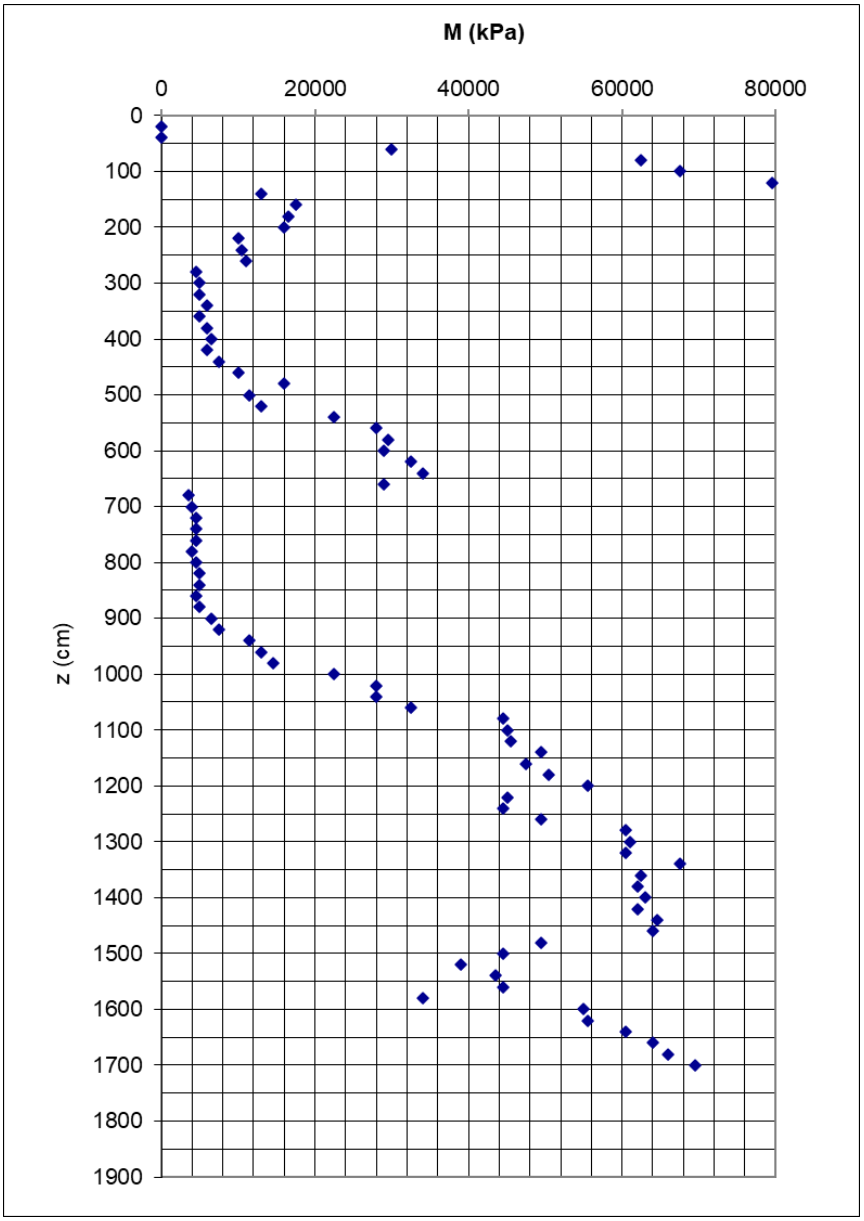
C.P.T. 8- ANGOLO D'ATTRITO



C.P.T. 8 – INDICE DI COMPORTAMENTO DEL TERRENO Ic

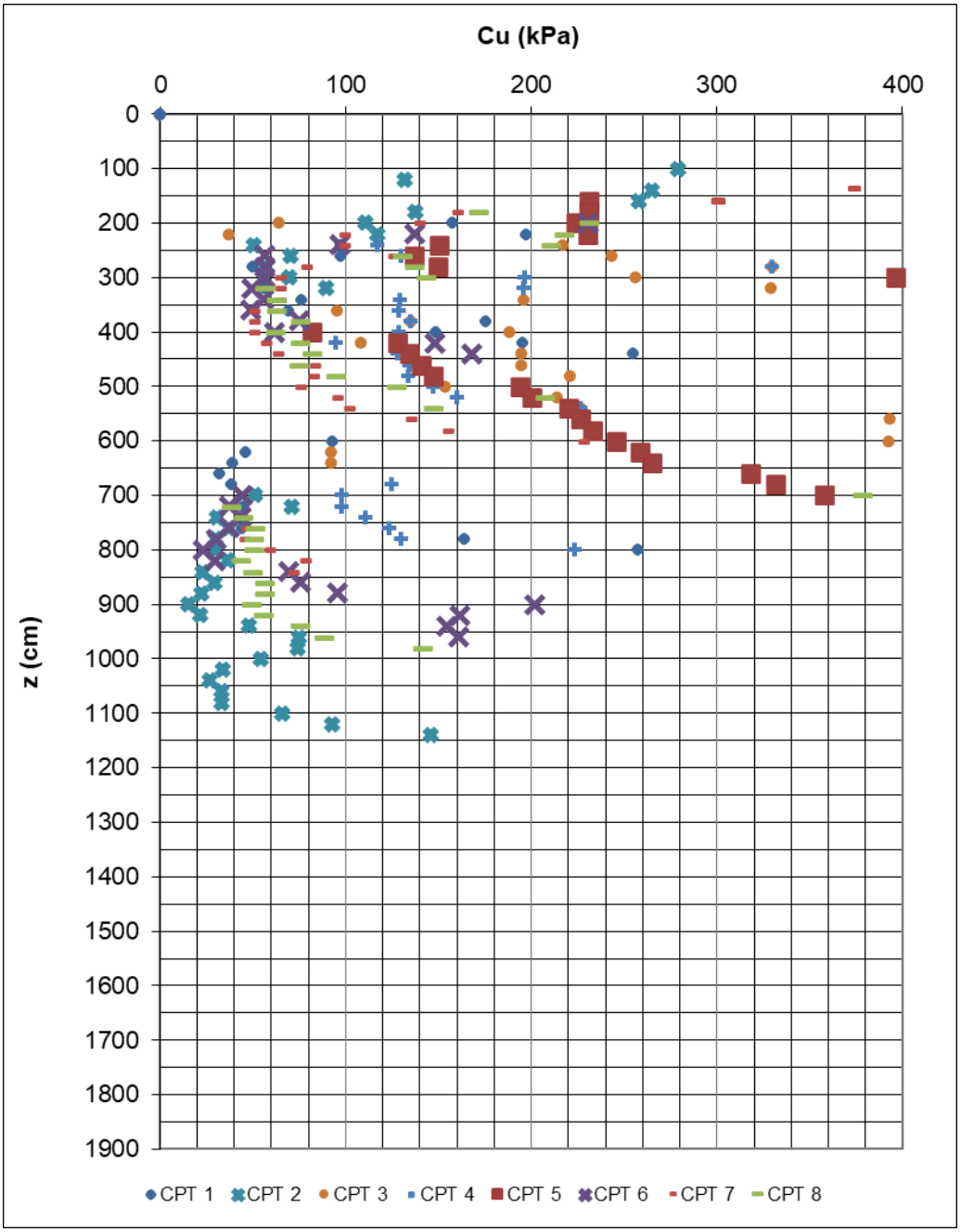


C.P.T. 8 – MODULO DI CONFINAMENTO M

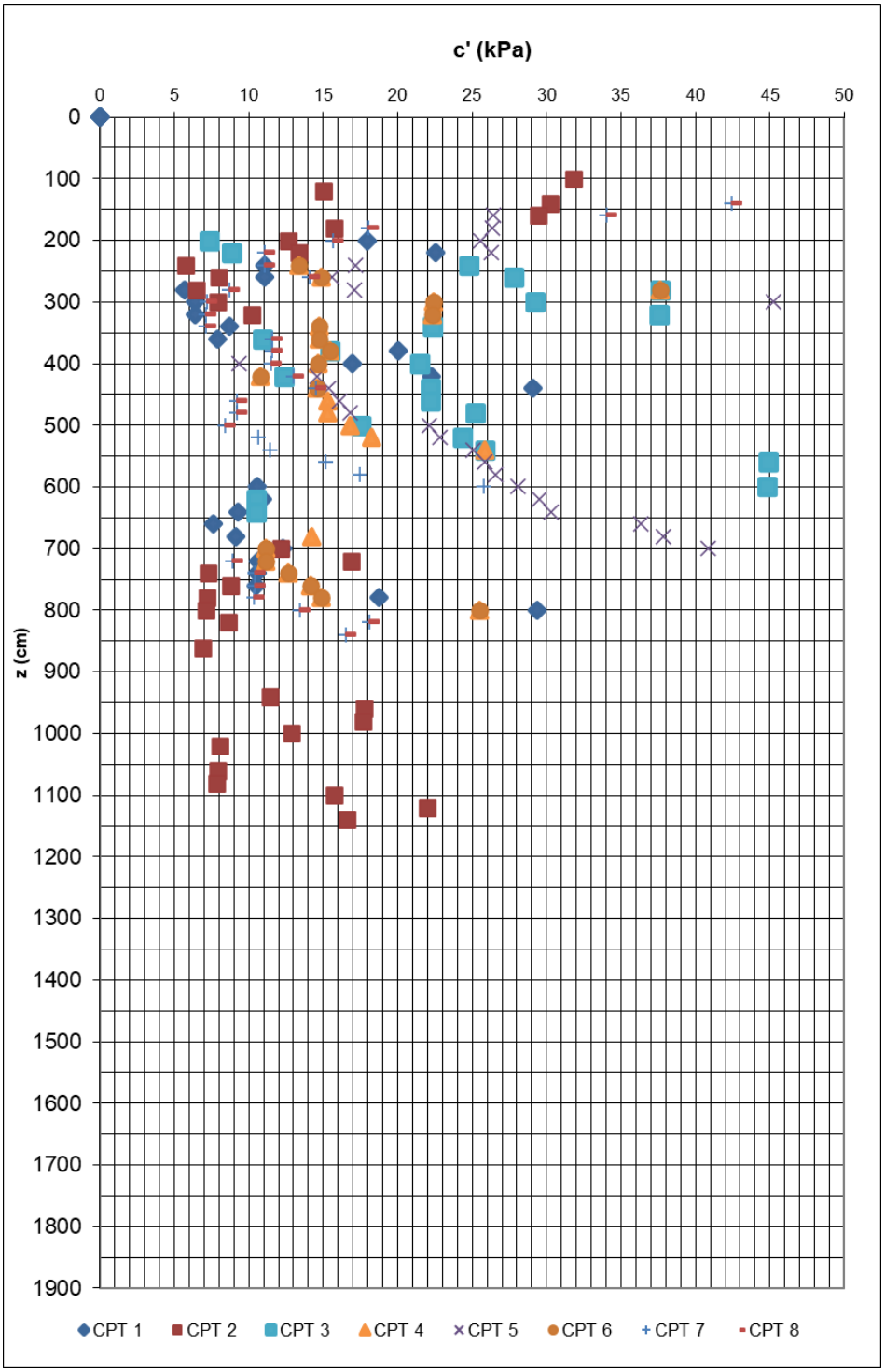


8.1.9 RISULTATI GENERALI

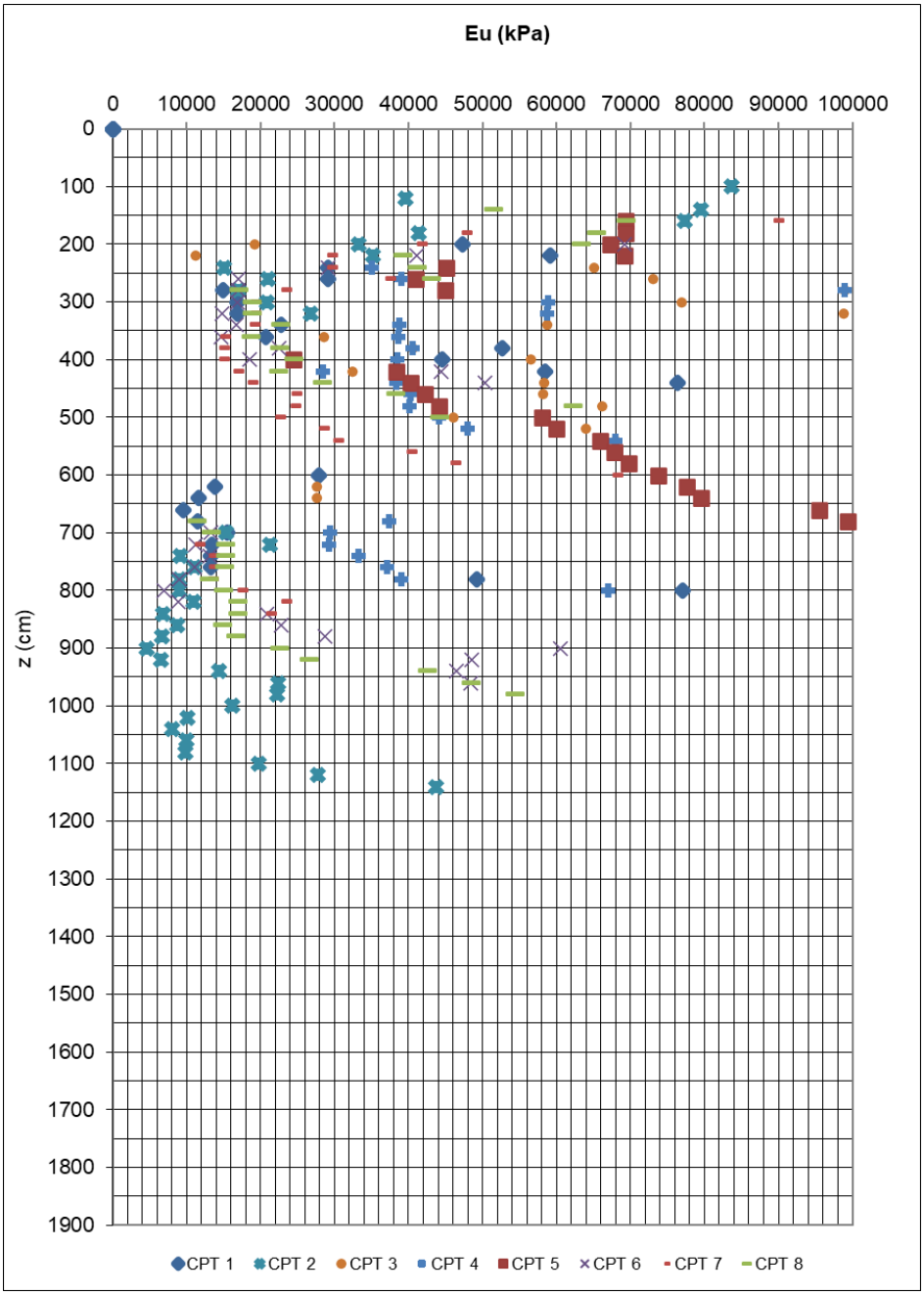
COESIONE NON DRENATA Cu



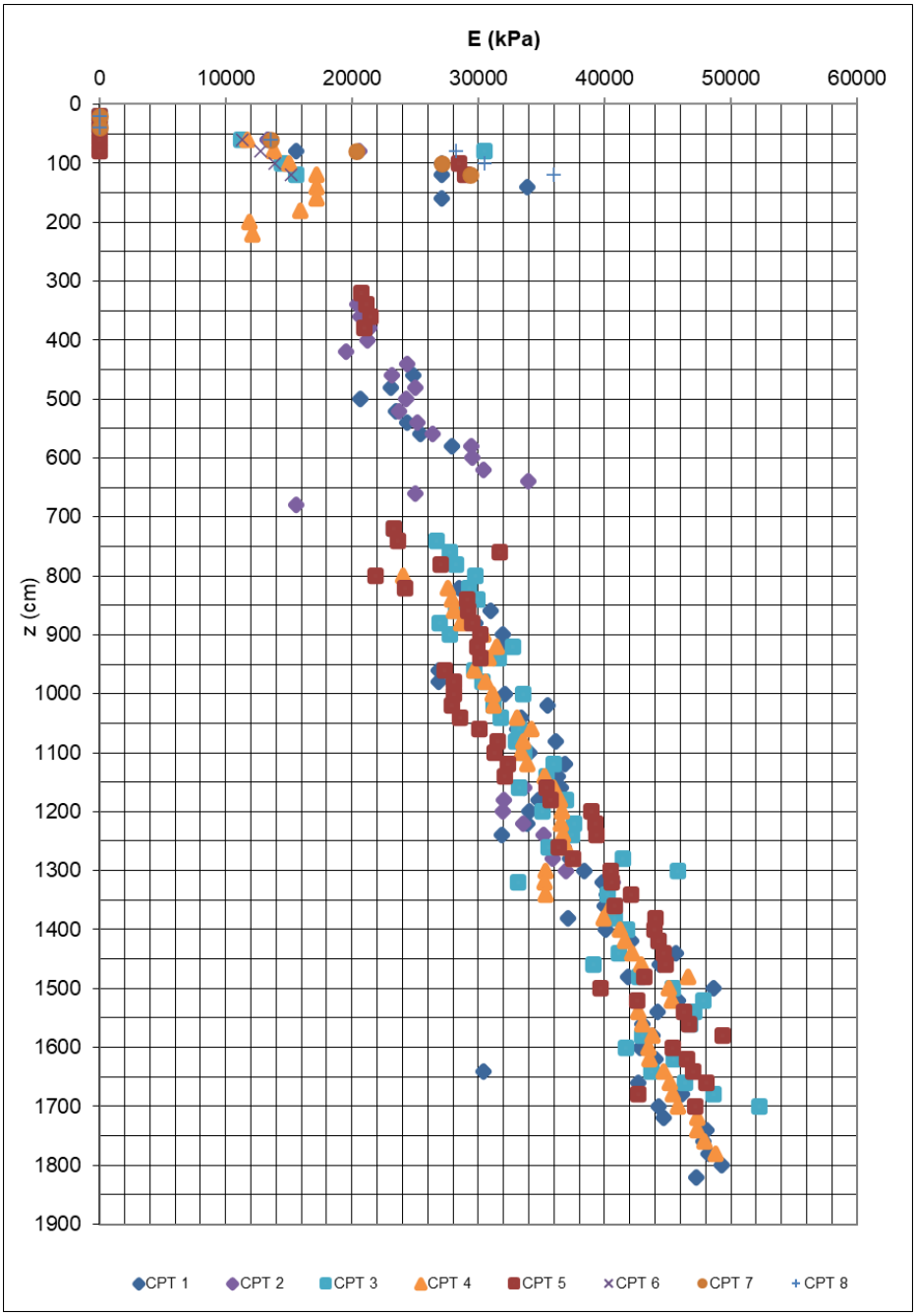
COESIONE EFFICACE C'



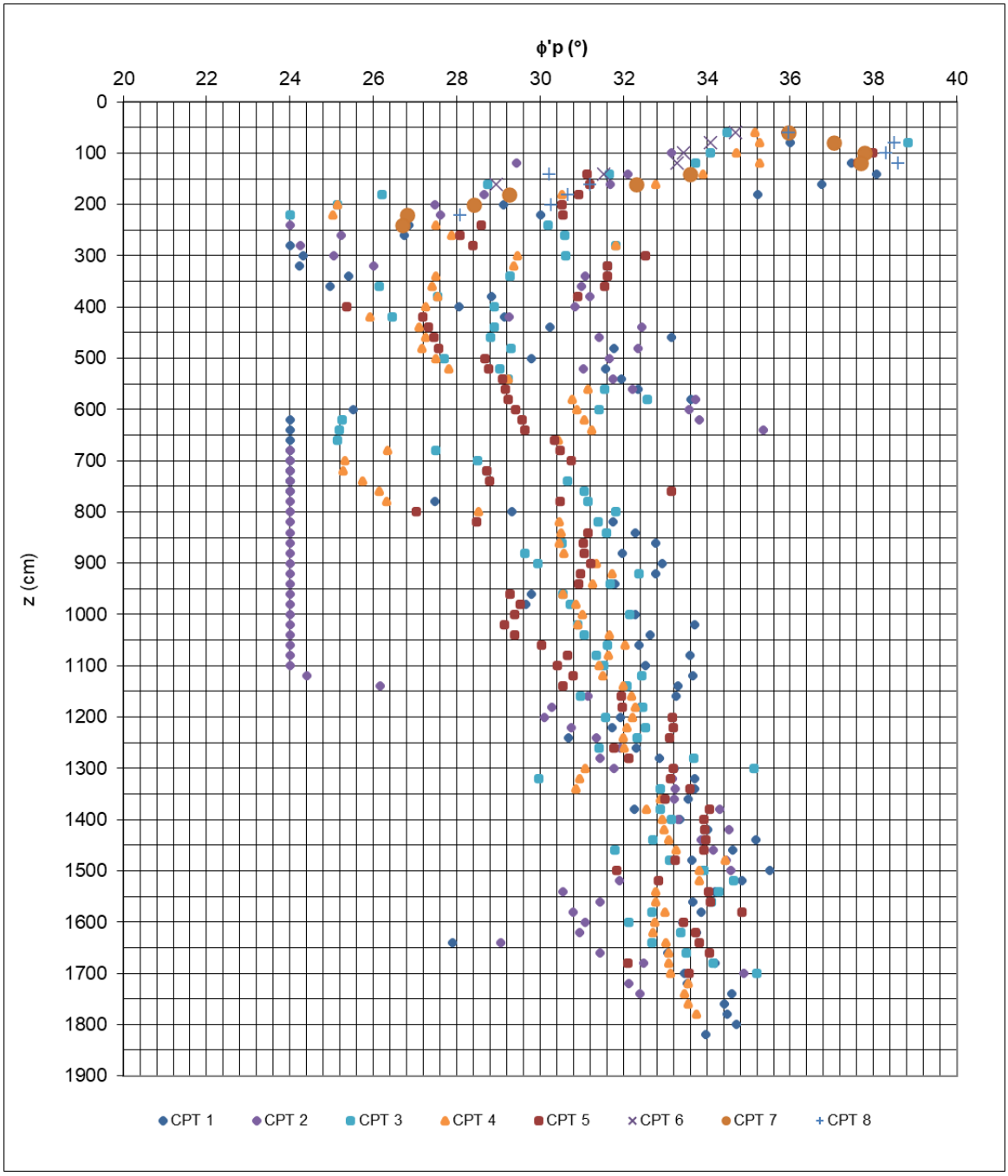
MODULO ELASTICO NON DRENATO Eu



MODULO ELASTICO DRENATO E



ANGOLO D'ATTRITO



8.2 RISULTATI PROVE DI RESISTENZA MECCANICA S.P.T.

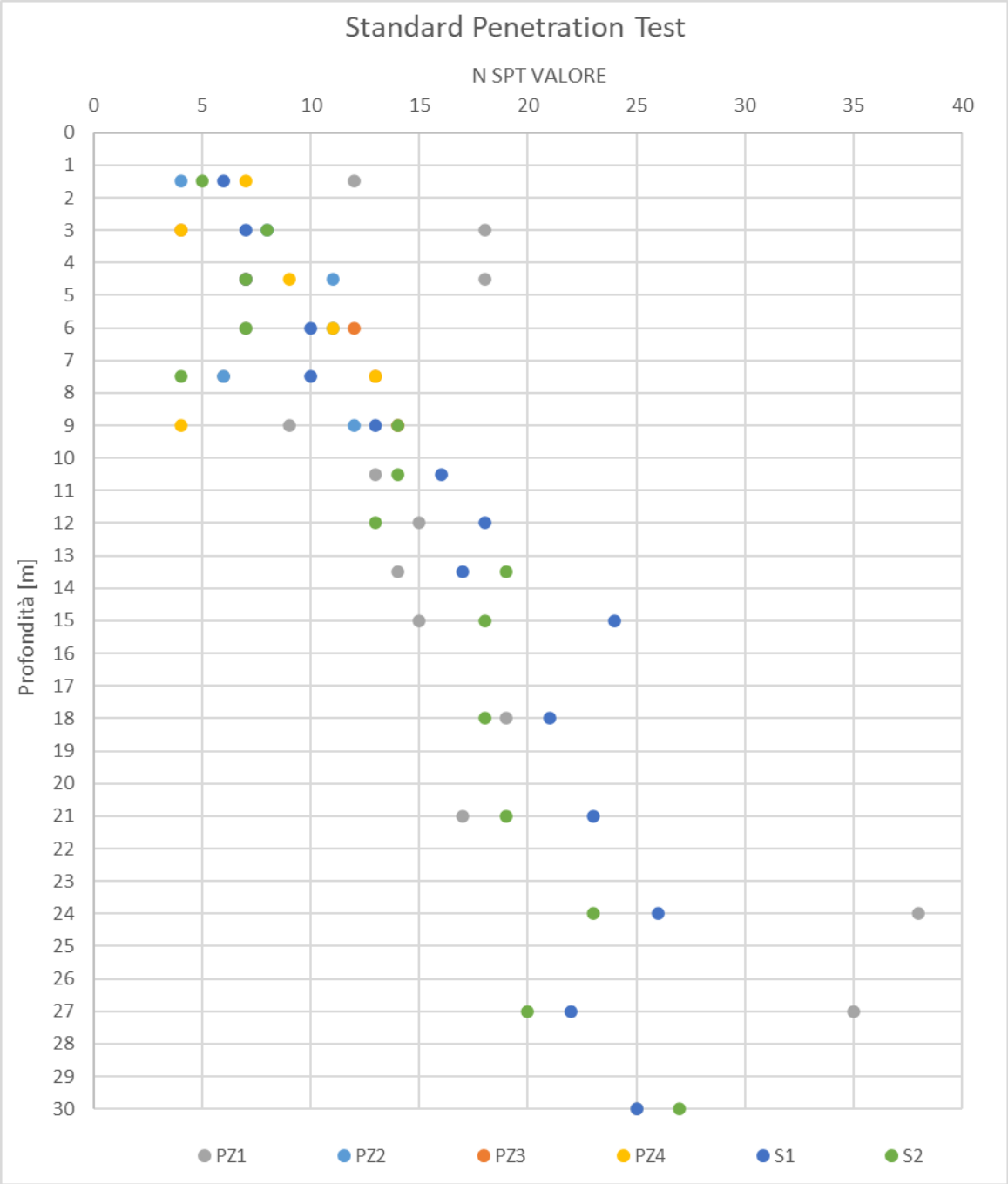
Di seguito, si riportano i risultati ottenuti dalle prove SPT nel foro dei sondaggi realizzati in sito.

8.2.1 NUMERO DI COLPI DA S.P.T.

Si riportano di seguito la tabella e il grafico del numero di colpi proveniente dalle prove SPT realizzate nei fori dei sondaggi.

Sondaggio	Profondità [m]	N_{SPT}	N'	Livello di Falda [m]	σ'vo [kPa]	Cn	$N_{1(60)}$
PZ1	1,5	12	12,0	2,35	27,00	1,32	15,86
	3,0	18	16,5	2,35	47,50	1,21	21,82
	4,5	18	16,5	2,35	59,50	1,16	20,81
	6,0	7	7,0	2,35	71,50	1,10	7,73
	7,5	6	6,0	2,35	83,50	1,06	6,35
	9,0	9	9,0	2,35	95,50	1,02	9,14
	10,5	13	13,0	2,35	107,50	0,98	12,68
	12,0	15	15,0	2,35	119,50	0,94	14,08
	13,5	14	14,0	2,35	131,50	0,90	12,67
	15,0	15	15,0	2,35	143,50	0,87	13,10
	18,0	19	17,0	2,35	167,50	0,82	15,51
	21,0	17	16,0	2,35	191,50	0,77	13,03
	24,0	38	26,5	2,35	215,50	0,72	27,44
	27,0	35	25,0	2,35	239,50	0,68	23,89
	30,0	25	20,0	2,35	263,50	0,65	16,18
PZ2	1,5	4	4,0	2,40	27,00	1,32	5,29
	3,0	8	8,0	2,40	48,00	1,21	9,68
	4,5	11	11,0	2,40	60,00	1,15	12,69
	6,0	11	11,0	2,40	72,00	1,10	12,13
	7,5	6	6,0	2,40	84,00	1,06	6,34
	9,0	12	12,0	2,40	96,00	1,01	12,16
PZ3	3,0	4	4,0	2,40	48,00	1,21	4,84
	4,5	7	7,0	2,40	60,00	1,15	8,08
	6,0	12	12,0	2,40	72,00	1,10	13,24
	7,5	13	13,0	2,40	84,00	1,06	13,73
	9,0	14	14,0	2,40	96,00	1,01	14,19

PZ4	1,5	7	7,0	2,40	27,00	1,32	9,25
	3,0	4	4,0	2,40	48,00	1,21	4,84
	4,5	9	9,0	2,40	60,00	1,15	10,38
	6,0	11	11,0	2,40	72,00	1,10	12,13
	7,5	13	13,0	2,40	84,00	1,06	13,73
	9,0	4	4,0	2,40	96,00	1,01	4,05
S1	1,5	6	6,0	2,29	27,00	1,32	7,93
	3,0	7	7,0	2,29	46,90	1,22	8,51
	4,5	7	7,0	2,29	58,90	1,16	8,11
	6,0	10	10,0	2,29	70,90	1,11	11,07
	7,5	10	10,0	2,29	82,90	1,06	10,60
	9,0	13	13,0	2,29	94,90	1,02	13,22
	10,5	16	15,5	2,29	106,90	0,98	15,64
	12,0	18	16,5	2,29	118,90	0,94	16,93
	13,5	17	16,0	2,29	130,90	0,91	15,41
	15,0	24	19,5	2,29	142,90	0,87	21,00
	18,0	21	18,0	2,29	166,90	0,82	17,17
	21,0	23	19,0	2,29	190,90	0,77	17,65
	24,0	26	20,5	2,29	214,90	0,72	18,80
	27,0	22	18,5	2,29	238,90	0,68	15,04
	30,0	25	20,0	2,29	262,90	0,65	16,20
S2	1,5	5	5,0	2,31	27,00	1,32	6,61
	3,0	8	8,0	2,31	47,10	1,21	9,71
	4,5	7	7,0	2,31	59,10	1,16	8,10
	6,0	7	7,0	2,31	71,10	1,11	7,75
	7,5	4	4,0	2,31	83,10	1,06	4,24
	9,0	14	14,0	2,31	95,10	1,02	14,23
	10,5	14	14,0	2,31	107,10	0,98	13,68
	12,0	13	13,0	2,31	119,10	0,94	12,22
	13,5	19	17,0	2,31	131,10	0,91	17,22
	15,0	18	16,5	2,31	143,10	0,87	15,74
	18,0	18	16,5	2,31	167,10	0,82	14,71
	21,0	19	17,0	2,31	191,10	0,77	14,57
	24,0	23	19,0	2,31	215,10	0,72	16,62
	27,0	20	17,5	2,31	239,10	0,68	13,66
	30,0	27	21,0	2,31	263,10	0,65	17,49

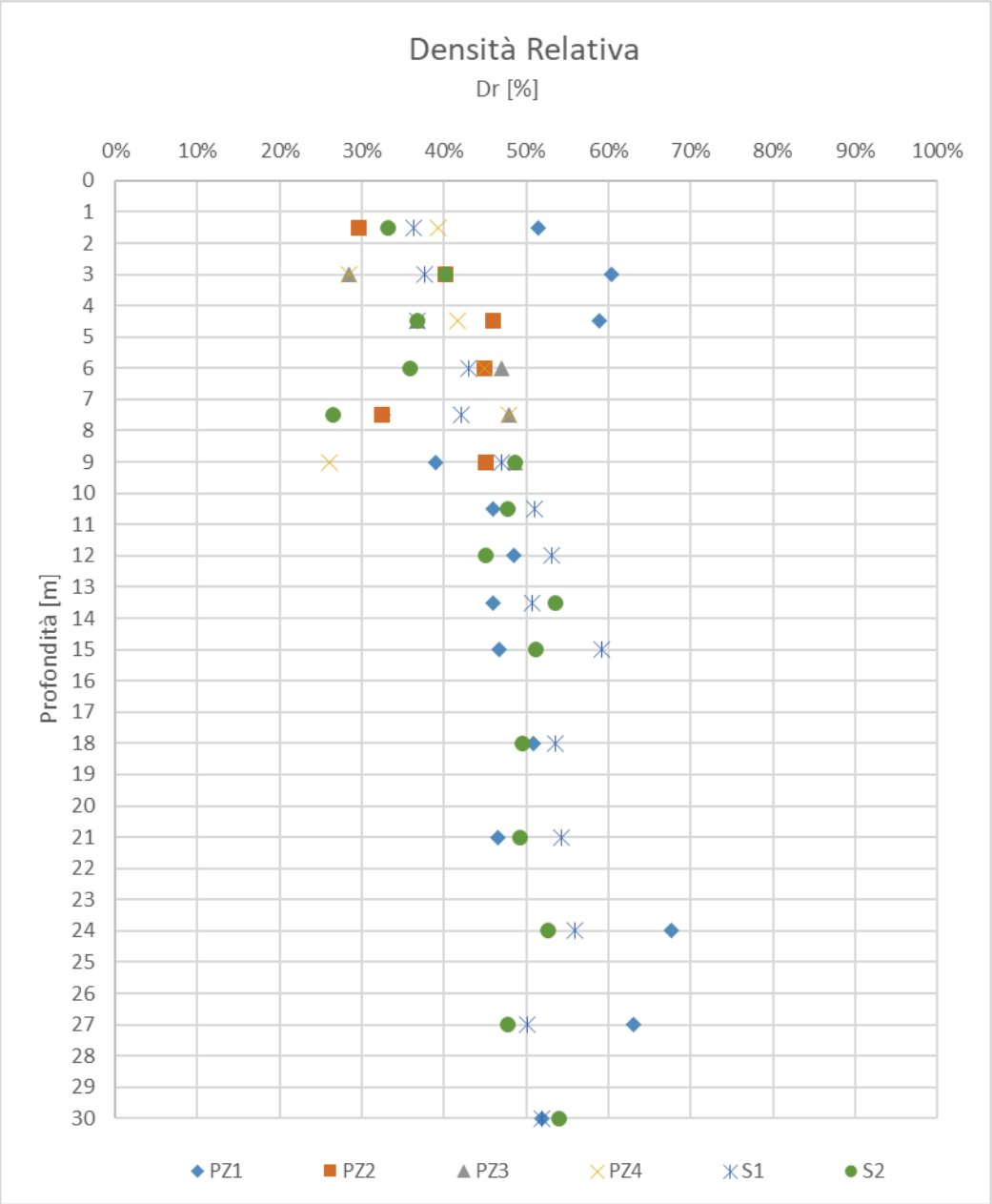

Standard Penetration Test
N SPT VALORE
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
PZ1
PZ2
PZ3
PZ4
S1
S2

8.2.2 DENSITÀ RELATIVA DA S.P.T.

Si riportano di seguito la tabella e il grafico della densità relativa proveniente dalle prove SPT realizzate nei fori di sondaggio.

Sondaggio	Profondità [m]	$N_{1(60)}$	Dr [%]
PZ1	1,5	15,86	51%
	3,0	21,82	60%
	4,5	20,81	59%
	6,0	7,73	36%
	7,5	6,35	33%
	9,0	9,14	39%
	10,5	12,68	46%
	12,0	14,08	48%
	13,5	12,67	46%
	15,0	13,10	47%
	18,0	15,51	51%
	21,0	13,03	47%
	24,0	27,44	68%
	27,0	23,89	63%
	30,0	16,18	52%
PZ2	1,5	5,29	30%
	3,0	9,68	40%
	4,5	12,69	46%
	6,0	12,13	45%
	7,5	6,34	33%
	9,0	12,16	45%
PZ3	3,0	4,84	28%
	4,5	8,08	37%
	6,0	13,24	47%
	7,5	13,73	48%
	9,0	14,19	49%
PZ4	1,5	9,25	39%
	3,0	4,84	28%
	4,5	10,38	42%
	6,0	12,13	45%
	7,5	13,73	48%
	9,0	4,05	26%
S1	1,5	7,93	36%
	3,0	8,51	38%

	4,5	8,11	37%
	6,0	11,07	43%
	7,5	10,60	42%
	9,0	13,22	47%
	10,5	15,64	51%
	12,0	16,93	53%
	13,5	15,41	51%
	15,0	21,00	59%
	18,0	17,17	53%
	21,0	17,65	54%
	24,0	18,80	56%
	27,0	15,04	50%
	30,0	16,20	52%
S2	1,5	6,61	33%
	3,0	9,71	40%
	4,5	8,10	37%
	6,0	7,75	36%
	7,5	4,24	27%
	9,0	14,23	49%
	10,5	13,68	48%
	12,0	12,22	45%
	13,5	17,22	54%
	15,0	15,74	51%
	18,0	14,71	50%
	21,0	14,57	49%
	24,0	16,62	53%
	27,0	13,66	48%
	30,0	17,49	54%

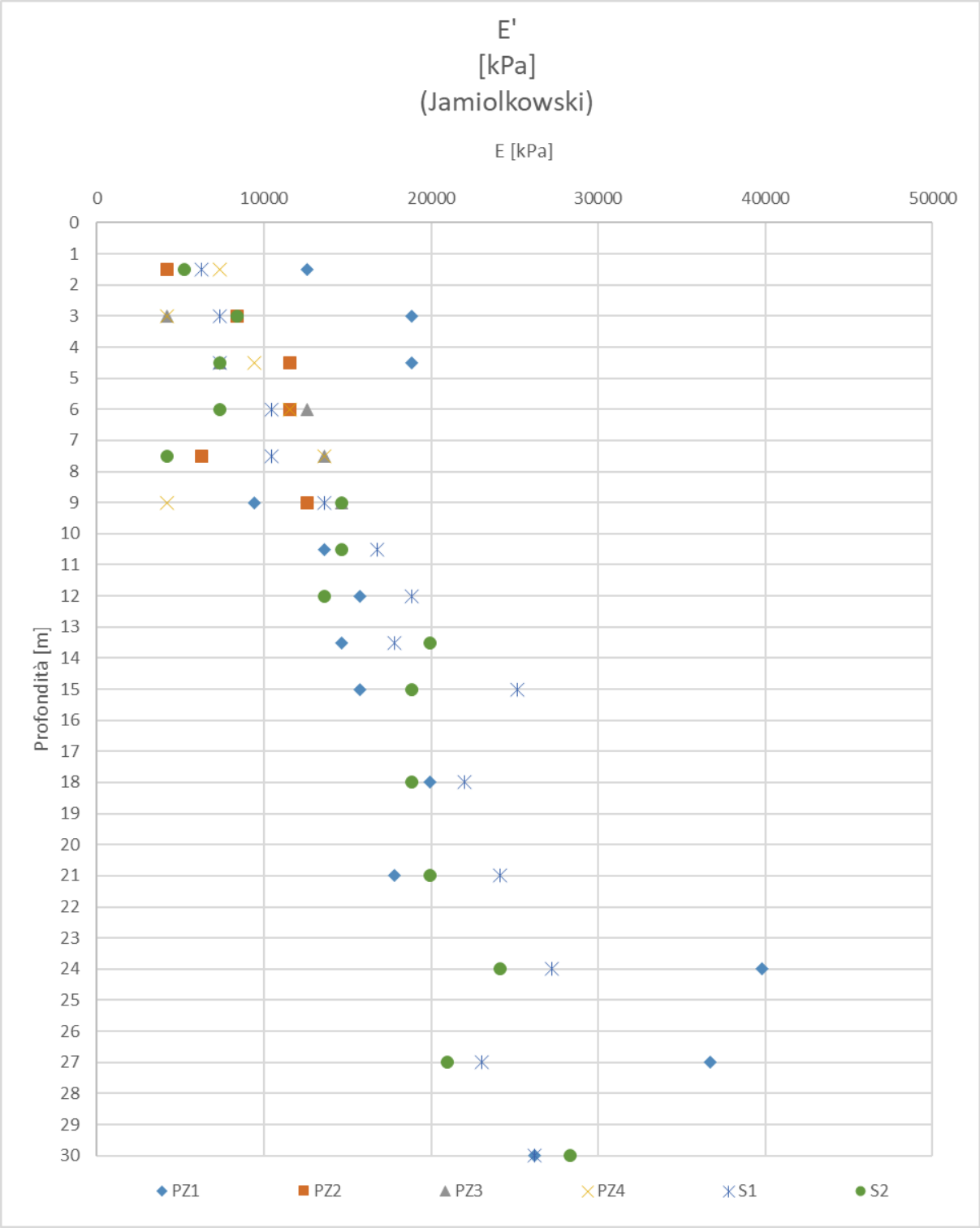

Densità Relativa
Dr [%]
0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%
100%
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
PZ1
PZ2
PZ3
PZ4
S1
S2

8.2.3 MODULO ELASTICO DA S.P.T.

Si riportano di seguito la tabella e il grafico del modulo elastico ricavato dalle prove SPT realizzate nei fori di sondaggio.

Sondaggio	Profondità [m]	N_{SPT}	$N_{1(60)}$	Dr [%]	Consolidazione	E' [kPa] (Jamiolkowski)
PZ1	1,5	12	15,9	51%	NC	12578
	3,0	18	21,8	60%	NC	18862
	4,5	18	20,8	59%	NC	18863
	6,0	7	7,7	36%	NC	7341
	7,5	6	6,3	33%	NC	6293
	9,0	9	9,1	39%	NC	9438
	10,5	13	12,7	46%	NC	13629
	12,0	15	14,1	48%	NC	15725
	13,5	14	12,7	46%	NC	14677
	15,0	15	13,1	47%	NC	15725
	18,0	19	15,5	51%	NC	19916
	21,0	17	13,0	47%	NC	17822
	24,0	38	27,4	68%	NC	39810
	27,0	35	23,9	63%	NC	36673
	30,0	25	16,2	52%	NC	26205
PZ2	1,5	4	5,3	30%	NC	4196
	3,0	8	9,7	40%	NC	8389
	4,5	11	12,7	46%	NC	11532
	6,0	11	12,1	45%	NC	11533
	7,5	6	6,3	33%	NC	6293
	9,0	12	12,2	45%	NC	12581
PZ3	3,0	4	4,8	28%	NC	4196
	4,5	7	8,1	37%	NC	7341
	6,0	12	13,2	47%	NC	12580
	7,5	13	13,7	48%	NC	13628
	9,0	14	14,2	49%	NC	14676
PZ4	1,5	7	9,3	39%	NC	7340
	3,0	4	4,8	28%	NC	4196
	4,5	9	10,4	42%	NC	9437
	6,0	11	12,1	45%	NC	11533
	7,5	13	13,7	48%	NC	13628
	9,0	4	4,1	26%	NC	4196

	1,5	6	7,9	36%	NC	6292
	3,0	7	8,5	38%	NC	7341
	4,5	7	8,1	37%	NC	7341
	6,0	10	11,1	43%	NC	10485
	7,5	10	10,6	42%	NC	10485
	9,0	13	13,2	47%	NC	13629
	10,5	16	15,6	51%	NC	16771
S1	12,0	18	16,9	53%	NC	18867
	13,5	17	15,4	51%	NC	17820
	15,0	24	21,0	59%	NC	25150
	18,0	21	17,2	53%	NC	22011
	21,0	23	17,7	54%	NC	24106
	24,0	26	18,8	56%	NC	27249
	27,0	22	15,0	50%	NC	23061
	30,0	25	16,2	52%	NC	26205
	1,5	5	6,6	33%	NC	5244
	3,0	8	9,7	40%	NC	8389
	4,5	7	8,1	37%	NC	7341
	6,0	7	7,7	36%	NC	7341
	7,5	4	4,2	27%	NC	4196
	9,0	14	14,2	49%	NC	14676
	10,5	14	13,7	48%	NC	14677
S2	12,0	13	12,2	45%	NC	13629
	13,5	19	17,2	54%	NC	19914
	15,0	18	15,7	51%	NC	18868
	18,0	18	14,7	50%	NC	18869
	21,0	19	14,6	49%	NC	19917
	24,0	23	16,6	53%	NC	24108
	27,0	20	13,7	48%	NC	20967
	30,0	27	17,5	54%	NC	28299

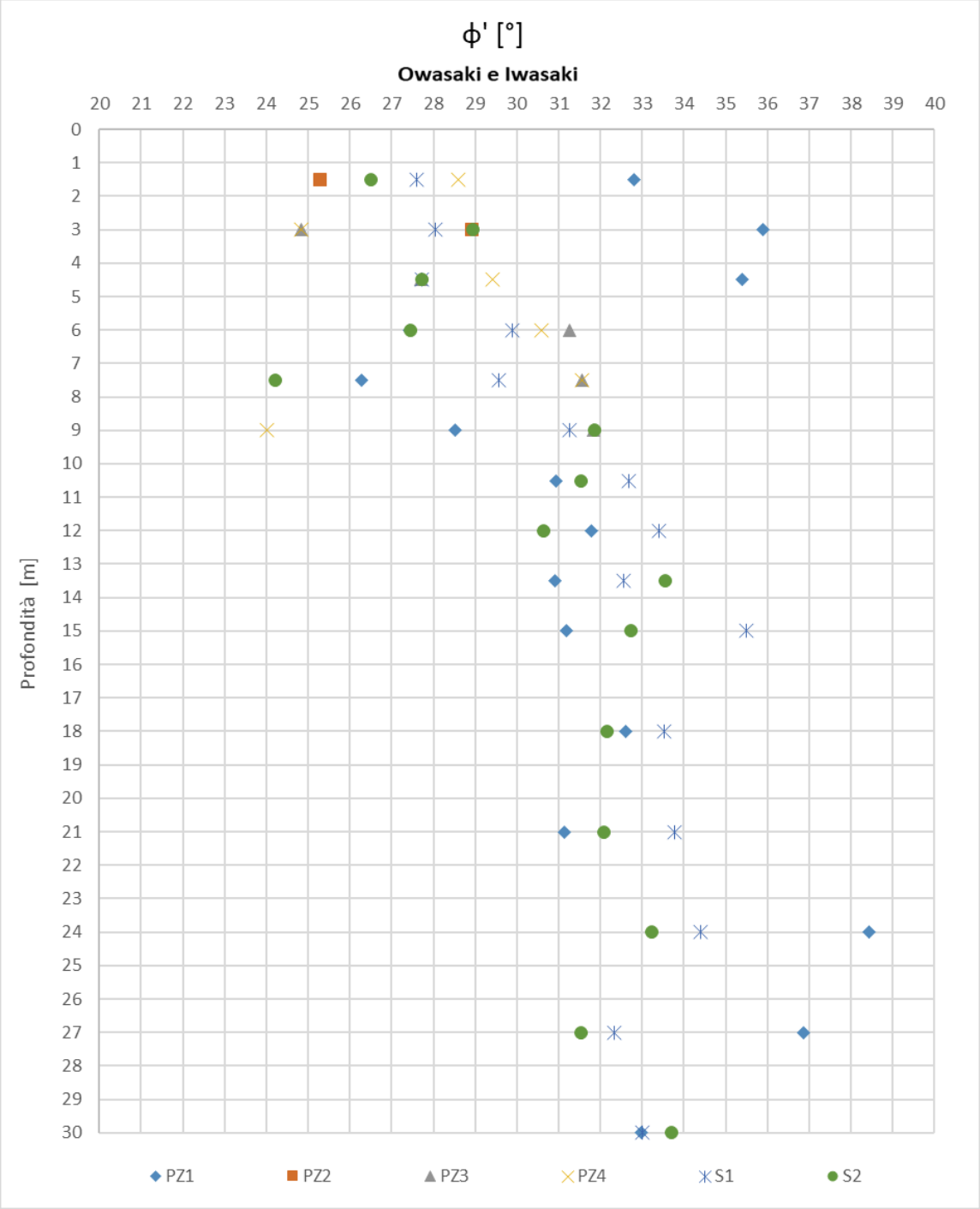

E'
[kPa]
(Jamiolkowski)
E [kPa]
0
10000
20000
30000
40000
50000
Profondità [m]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
PZ1
PZ2
PZ3
PZ4
S1
S2

8.2.4 ANGOLO D'ATTRITO DA S.P.T.

Si riportano di seguito la tabella e il grafico dell'angolo d'attrito ricavato dalle prove S.P.T. realizzate nei fori di sondaggio.

Sondaggio	Profondità [m]	$N_{1(60)}$	ϕ' [°]
PZ1	1,5	15,9	32,81
	3,0	21,8	35,89
	4,5	20,8	35,40
	6,0	7,7	27,44
	7,5	6,3	26,27
	9,0	9,1	28,52
	10,5	12,7	30,93
	12,0	14,1	31,78
	13,5	12,7	30,92
	15,0	13,1	31,19
	18,0	15,5	32,61
	21,0	13,0	31,14
	24,0	27,4	38,43
	27,0	23,9	36,86
	30,0	16,2	32,99
PZ2	1,5	5,3	25,28
	3,0	9,7	28,91
	4,5	12,7	30,93
	6,0	12,1	30,58
	7,5	6,3	26,26
	9,0	12,2	30,60
PZ3	3,0	4,8	24,84
	4,5	8,1	27,71
	6,0	13,2	31,27
	7,5	13,7	31,57
	9,0	14,2	31,85
PZ4	1,5	9,3	28,60
	3,0	4,8	24,84
	4,5	10,4	29,41
	6,0	12,1	30,58
	7,5	13,7	31,57
	9,0	4,1	24,00
S1	1,5	7,9	27,59
	3,0	8,5	28,04

	4,5	8,1	27,74
	6,0	11,1	29,88
	7,5	10,6	29,56
	9,0	13,2	31,26
	10,5	15,6	32,69
	12,0	16,9	33,40
	13,5	15,4	32,56
	15,0	21,0	35,49
	18,0	17,2	33,53
	21,0	17,7	33,79
	24,0	18,8	34,39
	27,0	15,0	32,34
	30,0	16,2	33,00
S2	1,5	6,6	26,50
	3,0	9,7	28,94
	4,5	8,1	27,73
	6,0	7,7	27,45
	7,5	4,2	24,21
	9,0	14,2	31,87
	10,5	13,7	31,54
	12,0	12,2	30,63
	13,5	17,2	33,56
	15,0	15,7	32,74
	18,0	14,7	32,15
	21,0	14,6	32,07
	24,0	16,6	33,23
	27,0	13,7	31,53
	30,0	17,5	33,70


ϕ' [°]
Owasaki e Iwasaki
20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40
Profondità [m]
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
PZ1
PZ2
PZ3
PZ4
S1
S2

9 STRATIGRAFIA DI RIFERIMENTO

L'esame dei campioni prelevati nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo e dei diagrammi di resistenza penetrometrica relativi alle prove penetrometriche eseguite in sito ha consentito di definire uno schema nel quale si identificano degli orizzonti litostratigrafici sovrapposti, aventi caratteristiche di resistenza alla penetrazione statica e parametri litologici e geomeccanici specifici.

Tali risultanze evidenziano una situazione litostratigrafica discretamente omogenea nelle verticali di indagine, in particolare i terreni indagati risultano sostanzialmente costituiti da alternanze di livelli più o meno sabbiosi alternati a limi.

Il modello litostratigrafico locale può essere così proposto:

Strato	Profondità [m]	Litologia
R	da 0.0 a 1,50-2,0	Materiali eterogenei di riporto
1	da 1,50-2,0 a 2,50-6,0	Limi sabbiosi
2	da 2,50-6,0 a 4,0-7,0	Sabbie limose
3	da 4,0-7,0 a 7,0-11,5	Argille limose/limi argillosi
4	da 7,0-11,5 a 25,0-29,0	Alternanze di sabbie con ciottoli e sabbie limose
5	> 25,0-29,0	Sabbie limose

La falda è stata riscontrata a profondità di circa -2.30 metri dall'attuale piano campagna.

10 SISMICITÀ

10.1 ZONA SISMICA

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Delibera della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.2129 entrata in vigore il 10 aprile 2016, il territorio di Siziano è classificato in zona sismica 3.

Zona sismica 3	Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.
AgMax 0,057162	Accelerazione massima presente all'interno del territorio comunale.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	*Descrizione*	*accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ag]*	*accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ag]*	*numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)*
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	ag > 0,25 g	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	0,15 < ag ≤ 0,25 g	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	0,05 < ag ≤ 0,15 g	0,15 g	3.002
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	ag ≤ 0,05 g	0,05 g	1.982

Figura 10: Zone sismiche in cui è stato diviso il territorio nazionale secondo l'Ordinanza del PCM n. 3519/2006.

La figura seguente mostra la mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, successivamente è riportata l'immagine dell'area di interesse e l'accelerazione al suolo con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni del comune di **Siziano** pari a **PGA = 0.05g – 0,15g**, valore caratteristico della **zona sismica di tipo 3**.

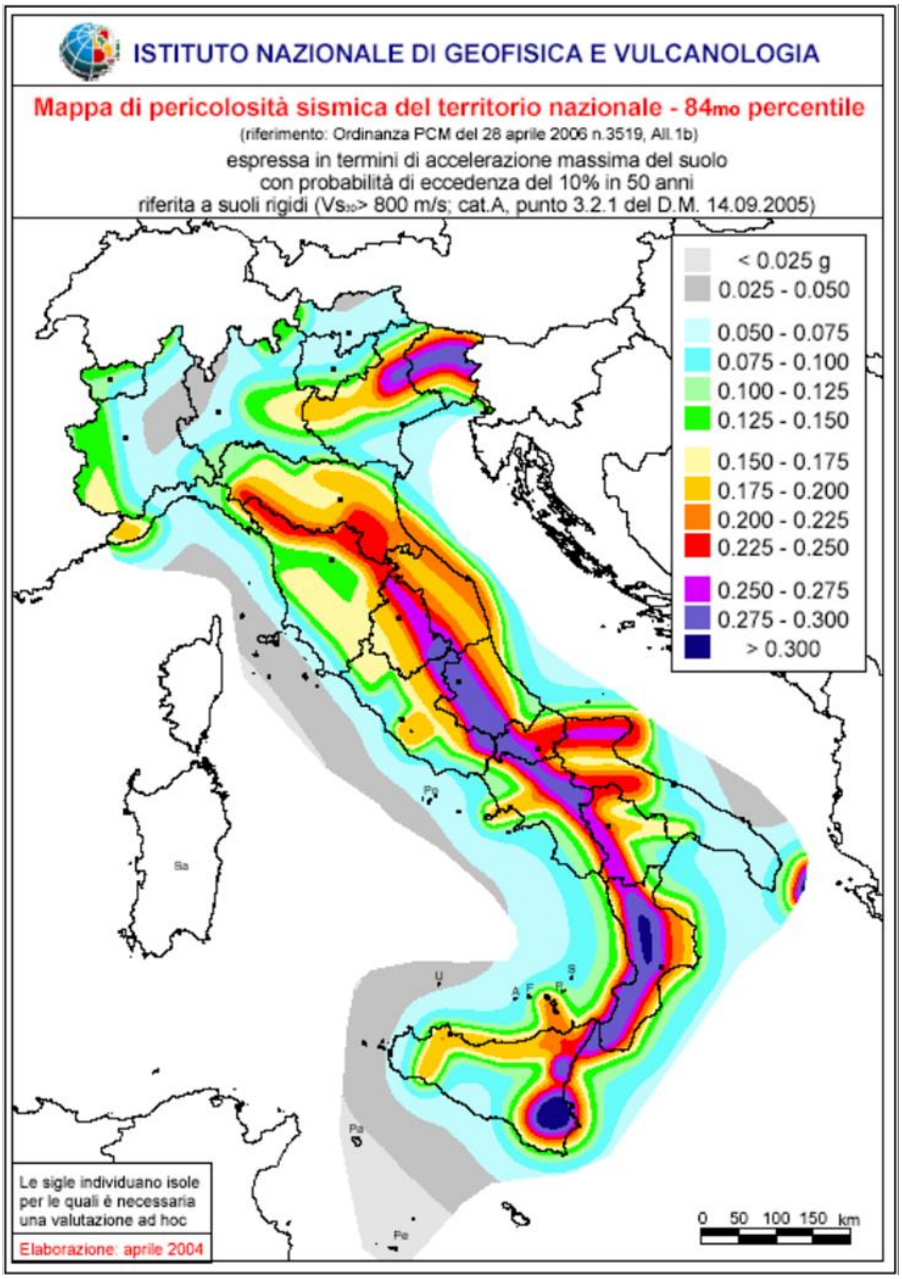


Figura 11: All.1b dell'Ordinanza PCM 3598 del 28/04/2006 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui l'accelerazione massima del suolo viene espressa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

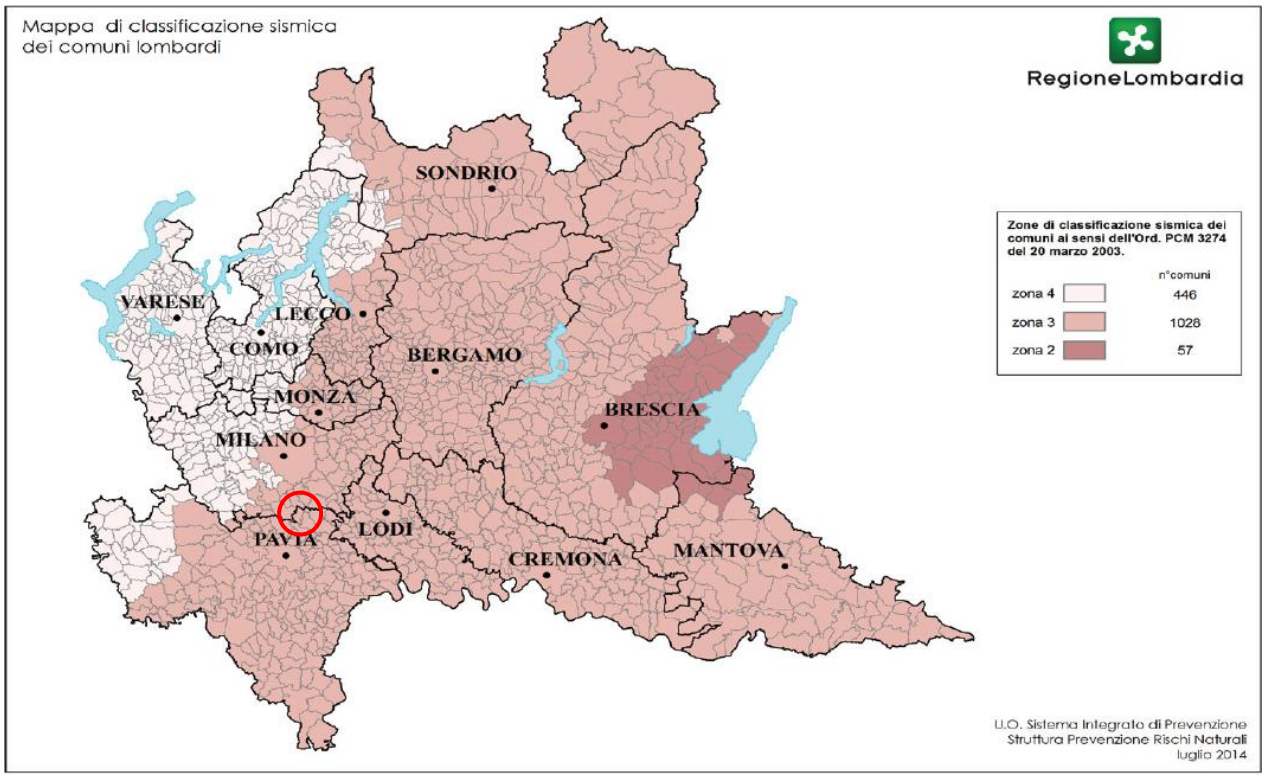
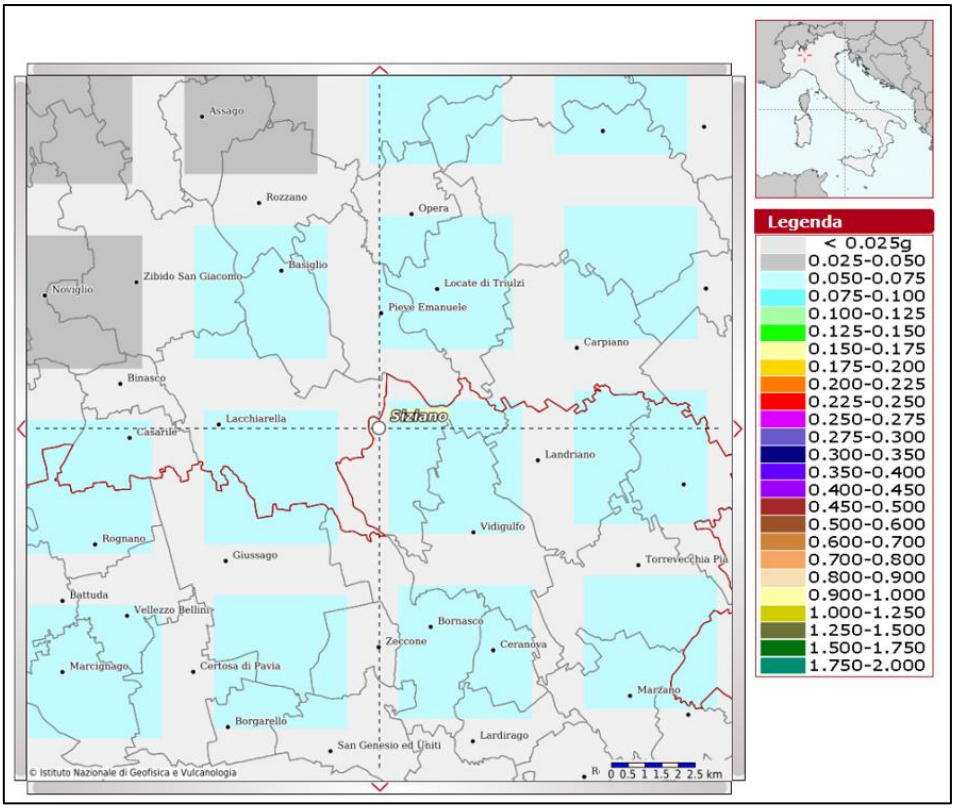


Figura 12: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito della D.G.R. n. X/2129.

In base all'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, sono state definite sulla base di più approfonditi studi, le zone di pericolosità sismica per il territorio nazionale ed è stata definita la mappa di pericolosità sismica MPSO4, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s e TR= 475anni).

Le figure seguenti mostrano la disaggregazione per l'area oggetto di studio della stima di PGA (Peak Ground Acceleration) con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni. Il grafico è una elaborazione che mostra il contributo delle sorgenti sismogenetiche alla pericolosità sismica di un certo sito: le sorgenti vengono discretizzate per intervalli di spazio e magnitudo.



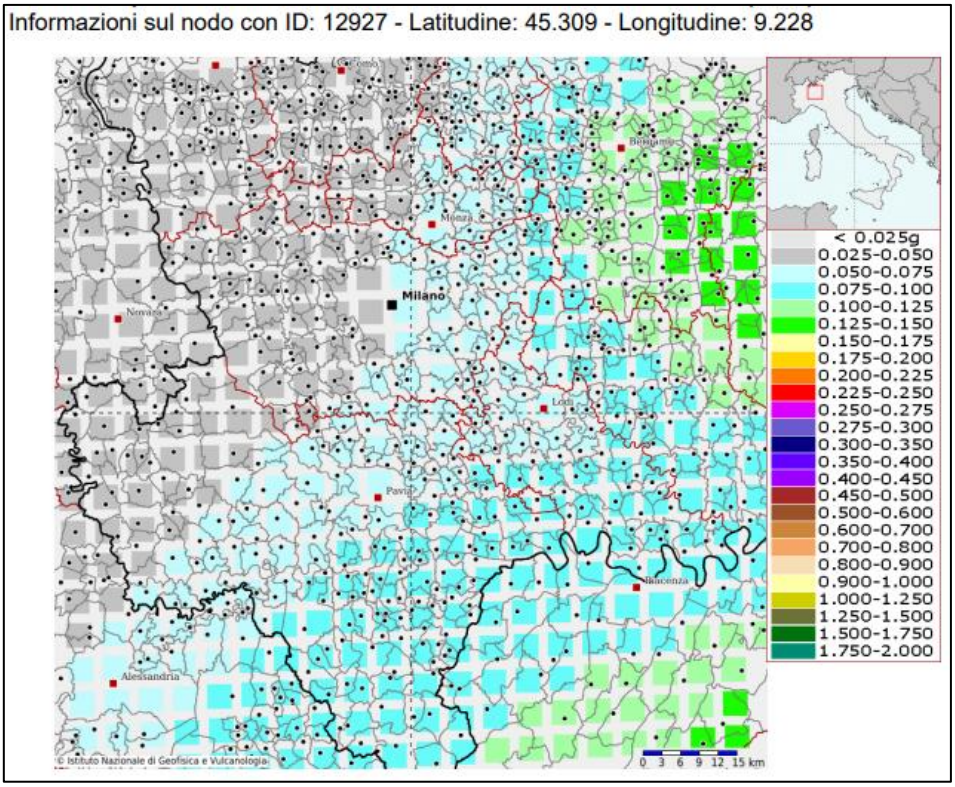


Figura 13: INGV - Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale – Comune di Siziano (PV).

La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, Vs30 > 800 m/s) e pianeggiante.

Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID **12927** (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.

Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.

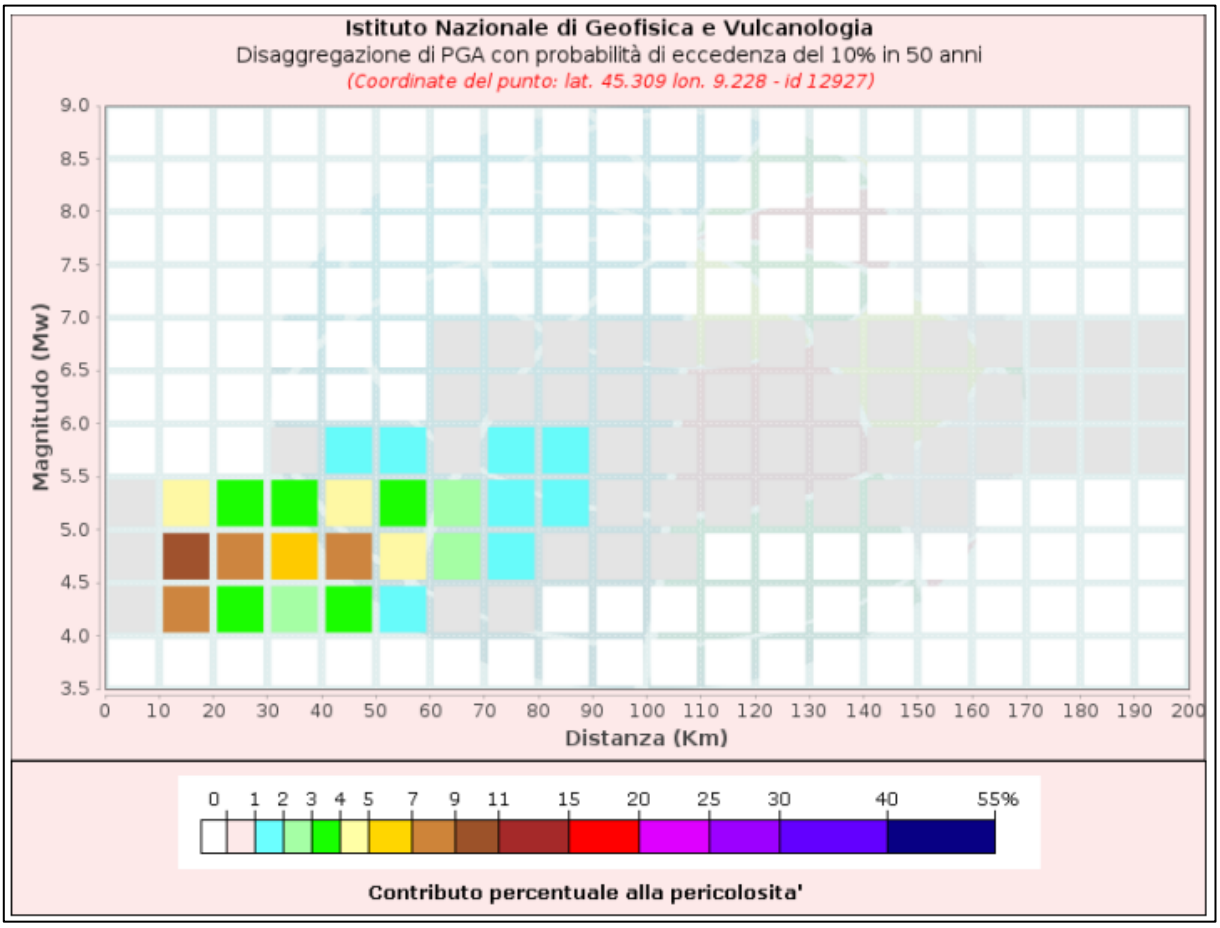


Figura 14: Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

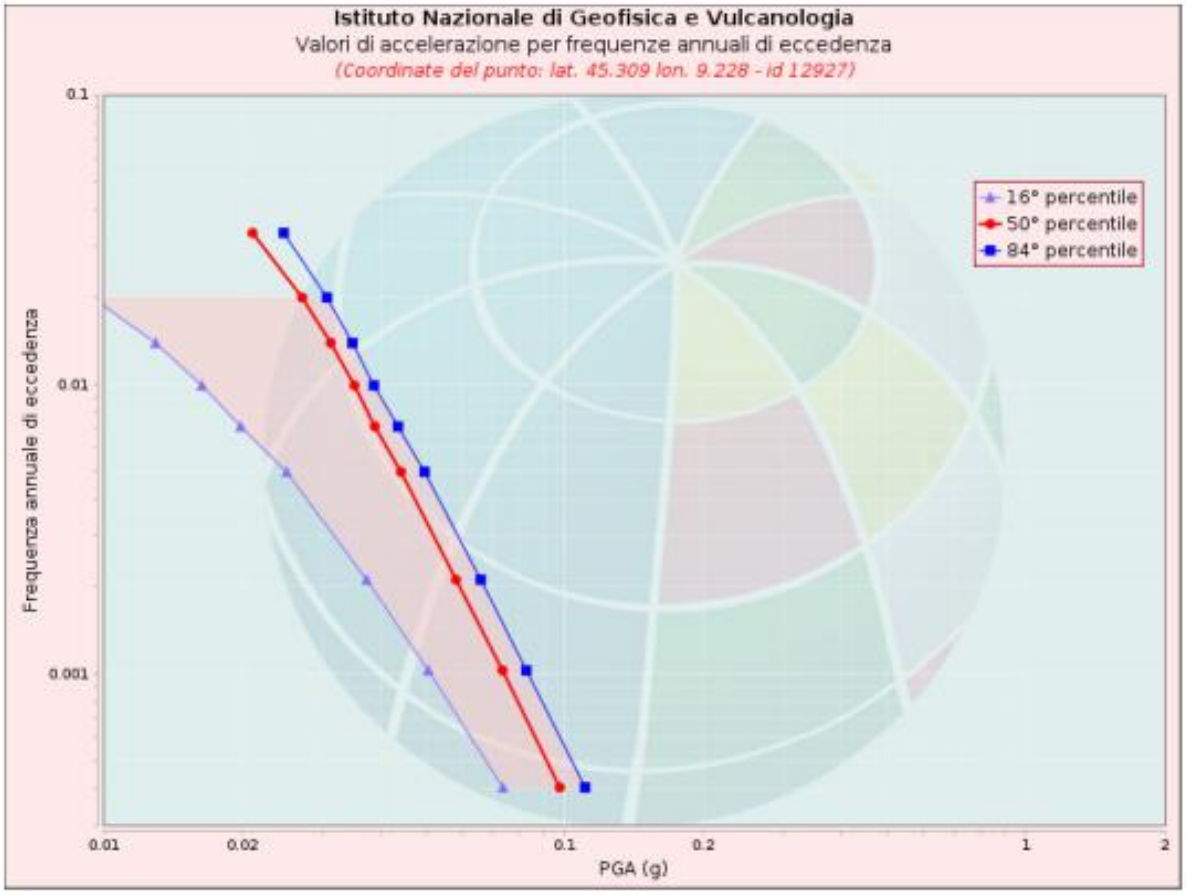
Distanza in Km	Magnitudo 3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	0.7880	0.9880	0.3110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	7.1500	10.5000	4.1700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	3.8800	7.1600	3.8200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	2.9200	6.0700	3.7800	0.3920	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	3.1600	7.1000	4.7400	1.1500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	1.6000	4.5100	3.5800	1.0900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.5270	2.3200	2.3400	0.8420	0.0019	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0510	1.0900	1.8500	1.0700	0.1440	0.0217	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.3270	1.1800	1.0300	0.4420	0.0743	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0714	0.6350	0.8600	0.5820	0.1040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0087	0.3050	0.6000	0.4930	0.0919	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.1410	0.4360	0.3970	0.0771	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0648	0.3440	0.3250	0.0636	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0234	0.3070	0.2690	0.0484	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0050	0.2060	0.2120	0.0368	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.1240	0.1890	0.0277	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0731	0.1640	0.0198	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0406	0.1370	0.0131	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0236	0.1280	0.0091	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0108	0.1080	0.0065	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 4.95 ; distanza = 43.8 ; epsilon = 1.43

Figura 15: Disaggregazione del valore a(g) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV).

Curve di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.

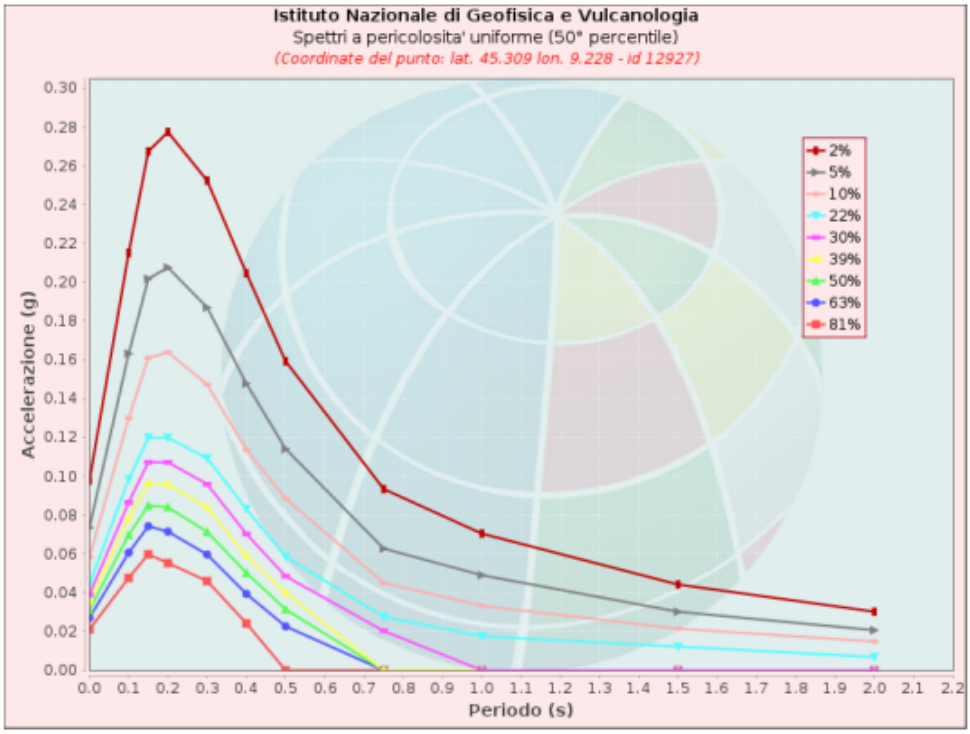


Valori di accelerazione per frequenze annuali di eccedenza			
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.074	0.098	0.111
0.0010	0.051	0.073	0.083
0.0021	0.037	0.058	0.066
0.0050	0.025	0.044	0.050
0.0071	0.020	0.039	0.044
0.0099	0.016	0.035	0.039
0.0139	0.013	0.031	0.035
0.0199	0.009	0.027	0.031
0.0332	0.000	0.021	0.025

Figura 16: Curve di pericolosità.

Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità. I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.



PoE in 50 anni	Accelerazione (g) – Periodo (s) 0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.098	0.215	0.267	0.277	0.252	0.205	0.159	0.093	0.070	0.044	0.030
5%	0.073	0.163	0.202	0.208	0.187	0.148	0.114	0.063	0.049	0.030	0.021
10%	0.058	0.130	0.161	0.164	0.147	0.114	0.089	0.045	0.033	0.021	0.015
22%	0.044	0.098	0.120	0.120	0.109	0.083	0.059	0.028	0.018	0.012	0.007
30%	0.039	0.087	0.107	0.107	0.096	0.070	0.048	0.020	0.000	0.000	0.000
39%	0.035	0.078	0.096	0.096	0.084	0.059	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
50%	0.031	0.070	0.085	0.084	0.071	0.050	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000
63%	0.027	0.061	0.074	0.071	0.060	0.039	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
81%	0.021	0.048	0.060	0.055	0.046	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 17: Spettri a pericolosità uniforme.

Si riporta di seguito la carta delle zone sismogenetiche ZS9 dell'Italia.

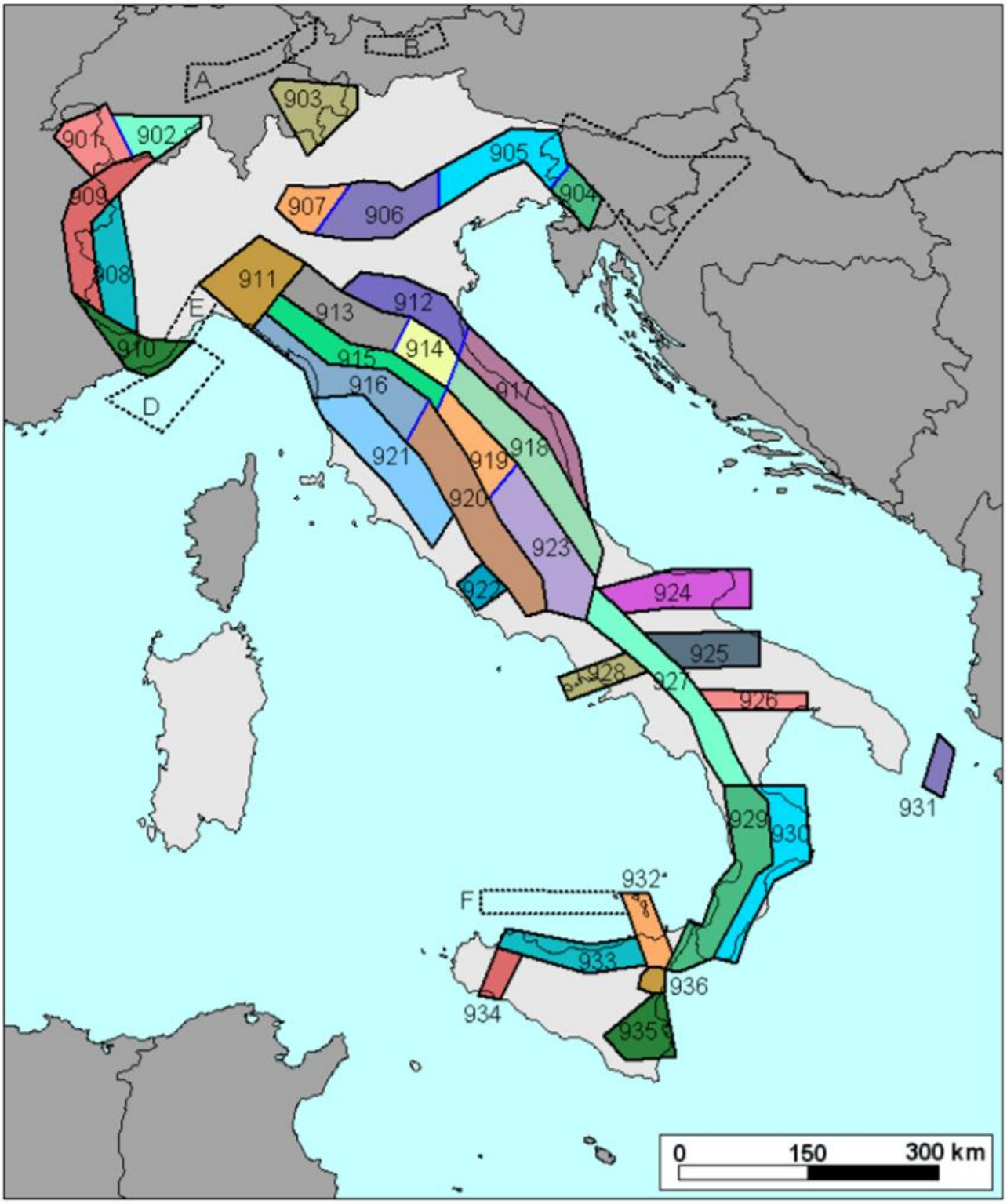


Figura 18: Sismogenetica ZS9.

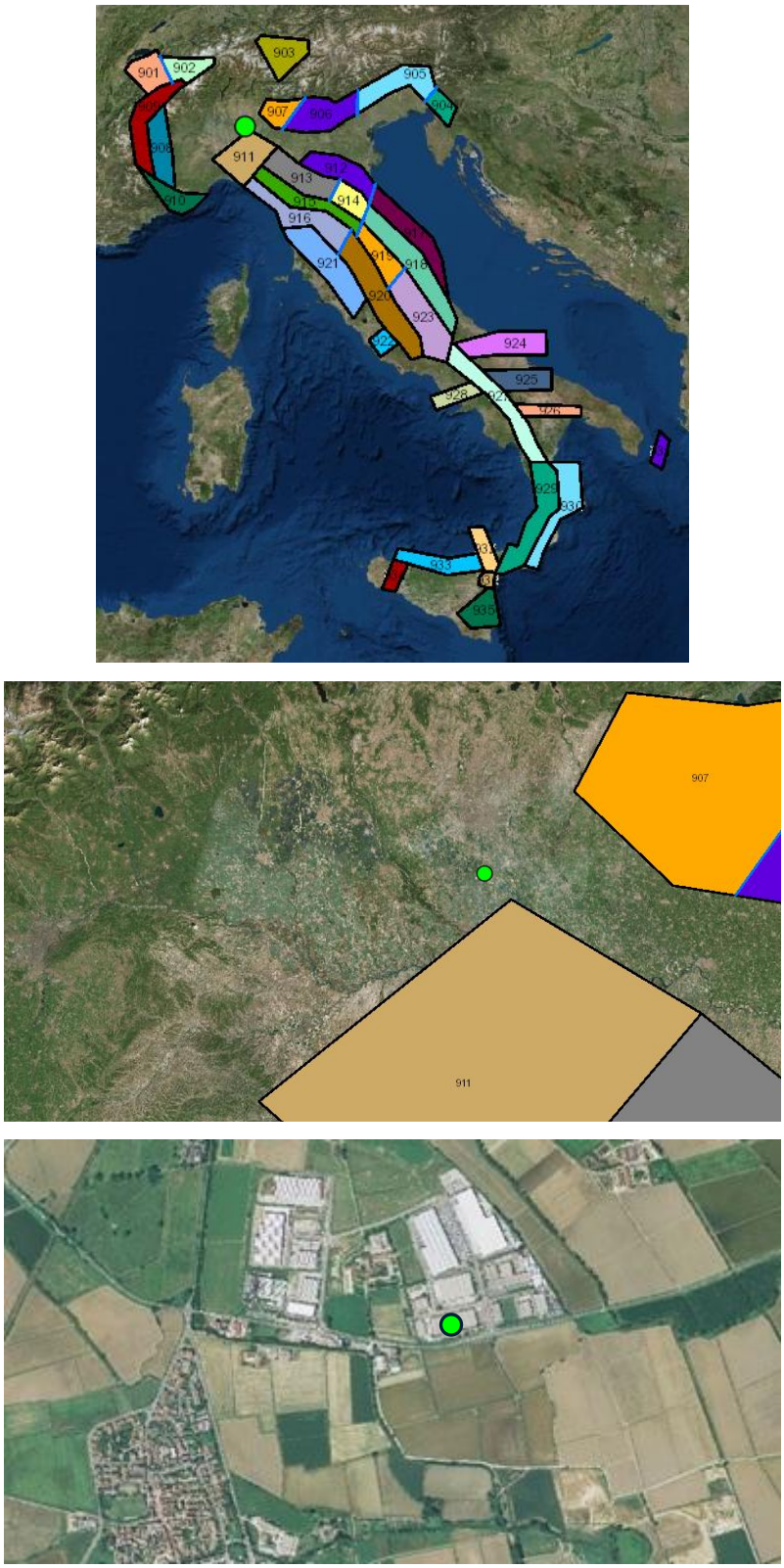


Figura 19: zonazione sismogenetica ZS9, con ubicazione area in esame.

Come è possibile vedere alla figura precedente, l'area oggetto d'interesse non ricade all'interno di nessuna delle zone sismogenetiche ZS9 (Meletti et al. 2008), utilizzata per la compilazione della mappa di pericolosità sismica MPS04.

Per il calcolo sismico si può prendere in considerazione la magnitudo calcolata dalla disaggregazione e quindi pari a 4.95. Realizzato da un gruppo di ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), la nuova versione 3.3.0 di DISS è un archivio georeferenziato di faglie sismogenetiche ovvero potenzialmente capaci di generare terremoti, identificate negli anni attraverso dati e studi geologici, geofisici e storici. È espressamente dedicato ad applicazioni nella valutazione della pericolosità sismica a scala regionale e nazionale, oltre che allo sviluppo di modelli geodinamici.

Dal DISS versione 3.3.0 si nota che l'area di studio non ricade nelle vicinanze di nessuna zona tettonica o di faglie attive come illustrata dalla figura seguente.

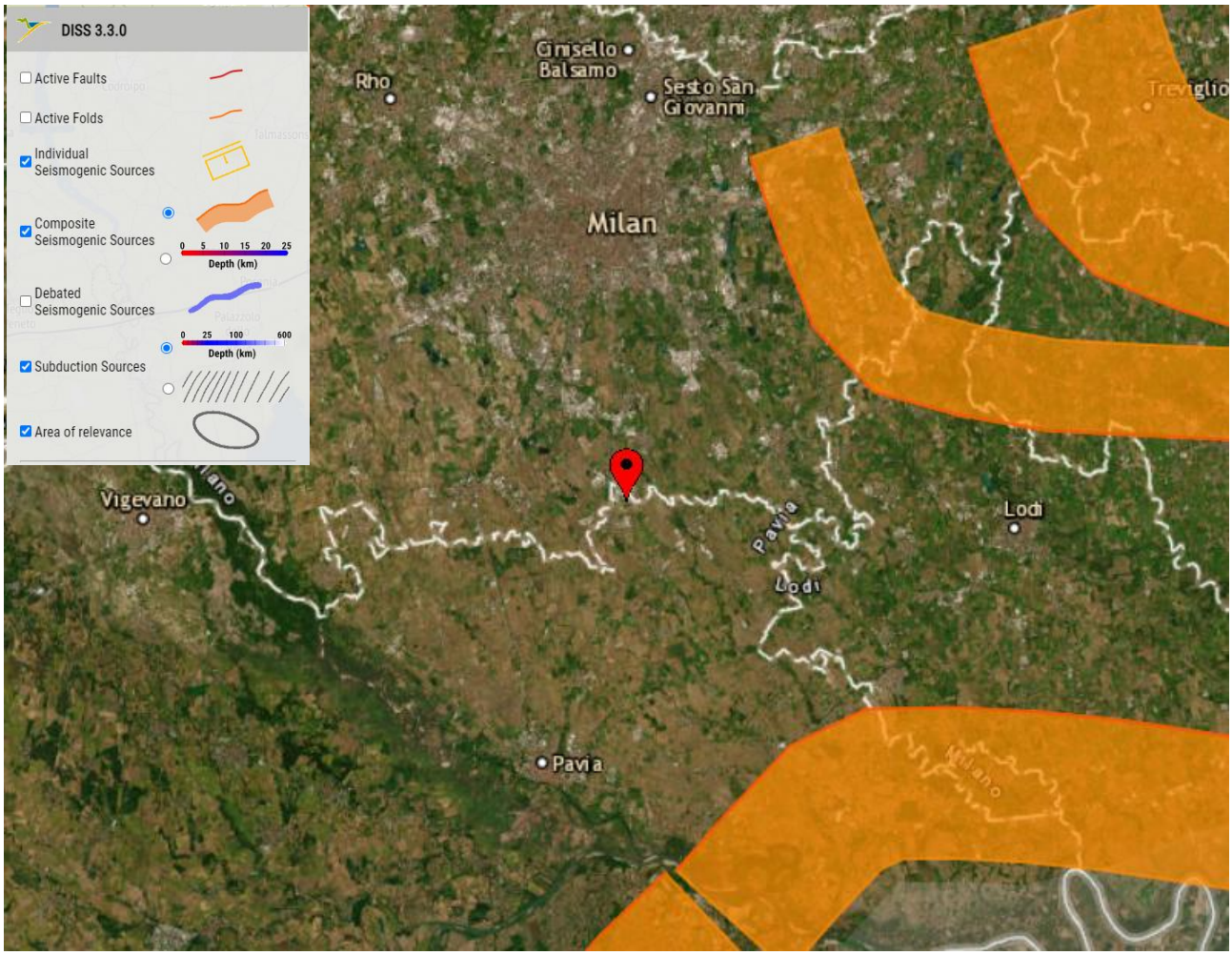


Figura 20: DISS versione 3.3.0 Database of Individual Seismic Sources-ITCS100.

10.2 CPTI15-DBMI15 V 4.0

CPTI15 V4.0

La nuova versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 rappresenta una significativa evoluzione rispetto alle versioni precedenti, che sono quindi da considerare del tutto superate. Anche se i criteri generali di compilazione e la struttura sono gli stessi della precedente versione CPTI11 (Rovida et al., 2011), il contenuto del catalogo è stato ampiamente rivisto per quanto concerne:

- la copertura temporale, estesa a tutto il 2020;
- il database macrosismico di riferimento (DBMI15 versione 4.0; Locati et al., 2022), significativamente aggiornato;
- i dati strumentali considerati, nuovi e/o aggiornati;
- le soglie di ingresso dei terremoti, abbassate a intensità massima 5 o magnitudo 4.0 (invece di 5-6 e 4.5 rispettivamente);
- la determinazione dei parametri macrosismici, basata su una nuova calibrazione dell'algoritmo Boxer;
- le magnitudo strumentali, che comprendono un nuovo set di dati e nuove relazioni di conversione.

Il catalogo copre l'intero territorio italiano con porzioni delle aree e dei mari confinanti (Figura 1), e contiene 4894 terremoti nella finestra temporale 1000-2020. Il catalogo, quindi, considera e armonizza il più possibile dati di base di diverso tipo e provenienza.

La magnitudo utilizzata è la magnitudo momento (Mw) e in tutti i casi è riportata la relativa incertezza. Tutti i dati e i metodi utilizzati sono accuratamente esplicitati nel catalogo per garantire la massima trasparenza possibile nelle procedure di compilazione. Al pari di CPTI11, il catalogo non è stato declusterato e contiene quindi tutti i foreshocks e le repliche disponibili e conosciuti all'interno delle soglie di magnitudo e intensità considerate.

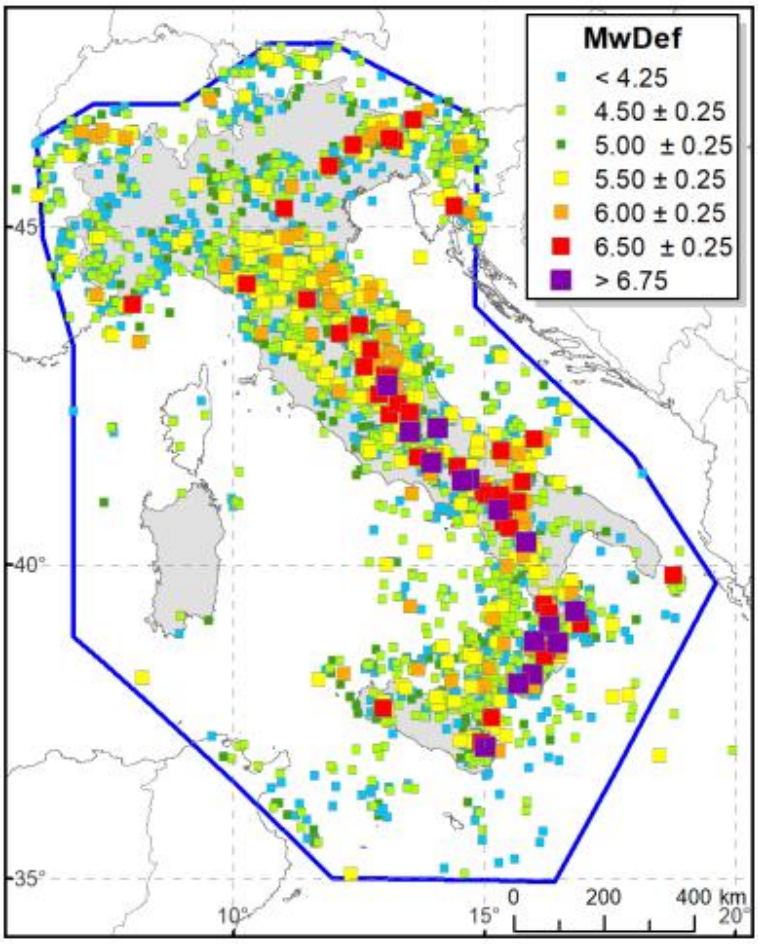


Figura 21: Distribuzione geografica degli epicentri dei terremoti contenuti in CPTI15 per classi di Mw e limite della copertura spaziale (poligono blu).

Il catalogo include i terremoti con intensità massima o epicentrale maggiore o uguale a 5, insieme a quelli con magnitudo strumentale equivalente (secondo i metodi e le conversioni descritte nel seguito) a Mw 4.0 o superiore. Alcuni terremoti con Mw < 4.0 sono inclusi nel catalogo per le seguenti ragioni:

- per i terremoti dell'area vulcanica dell'Etna, la soglia di magnitudo è Mw 3.0 ma restano inclusi tutti i terremoti con intensità massima e/o epicentrale 5;
- per i terremoti nell'area vulcanica dei Campi Flegrei la soglia di magnitudo è Mw 3.1, corrispondente a intensità epicentrale 5 secondo le conversioni utilizzate;
- i terremoti contenuti in CPTI11 sono stati tutti, tranne alcuni dell'area etnea e gli eventi dimostrati falsi, mantenuti nella nuova versione del catalogo, anche se i nuovi dati o le nuove calibrazioni (o entrambi) hanno portato a stime di Mw < 4.0.

L'attuale versione del catalogo CPTI15 v4.0 consiste i) nell'estensione della copertura temporale della precedente versione 3.0 dalla fine 2019 al 31 dicembre 2020 e ii) nell'aggiornamento dei parametri di alcuni terremoti nel periodo settembre 2018 – dicembre 2019 conseguente alla pubblicazione e inserimento del Bollettino Rivisto dell'ISC (International Seismological Centre) per quel periodo.

Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI sono stati pubblicati insieme e usano una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web. CPTI15 è consultabile liberamente all'indirizzo http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15 e attraverso il "web service" dell'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI) all'indirizzo https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/services/.

CPTI15 è un prodotto scientifico dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) la cui realizzazione ha richiesto anni di lavoro e raccoglie il frutto della ricerca di diversi autori di diversi enti. CPTI15 può essere utilizzato per scopi scientifici, a condizione che la fonte sia sempre citata.

DBMI15 V. 4.0

La versione 4.0 del Database Macrosismico Italiano DBMI15 è stata rilasciata a gennaio 2022 e aggiorna e sostituisce la precedente versione 3.0 (Locati et al., 2021) che venne pubblicata a gennaio 2021. Le variazioni tra la versione 3.0 e la 4.0 sono dettagliate al paragrafo 5 e consistono nell'allungamento della copertura temporale dalla fine del 2019 alla fine del 2020.

DBMI v4.0 fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani aggiornato alla finestra temporale 1000-2020. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima della magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane (15343 in DBMI15 v4.0), vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità macrosismica, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

Dato il loro stretto legame, DBMI e CPTI sono stati pubblicati insieme e usano una stessa numerazione (DBMI04-CPTI04, DBMI11-CPTI11), ma in due diversi siti web. A partire da DBMI15 e CPTI15 (Rovida et al. 2016) si è deciso di rendere disponibile le due banche dati da un unico sito web generato con una versione aggiornata del software MIDOP (Locati e Cassera 2010) al fine di rendere più semplice e funzionale la consultazione.

DBMI15 contiene 123981 dati di intensità relativi a 3229 terremoti. Come si può vedere dalle figure seguenti, l'incremento numerico dei terremoti con dati di intensità e di osservazioni macrosismiche rispetto alle due precedenti versioni DBMI04 (Stucchi et al. 2007) e DBMI11 (Locati et al., 2011) è elevato.

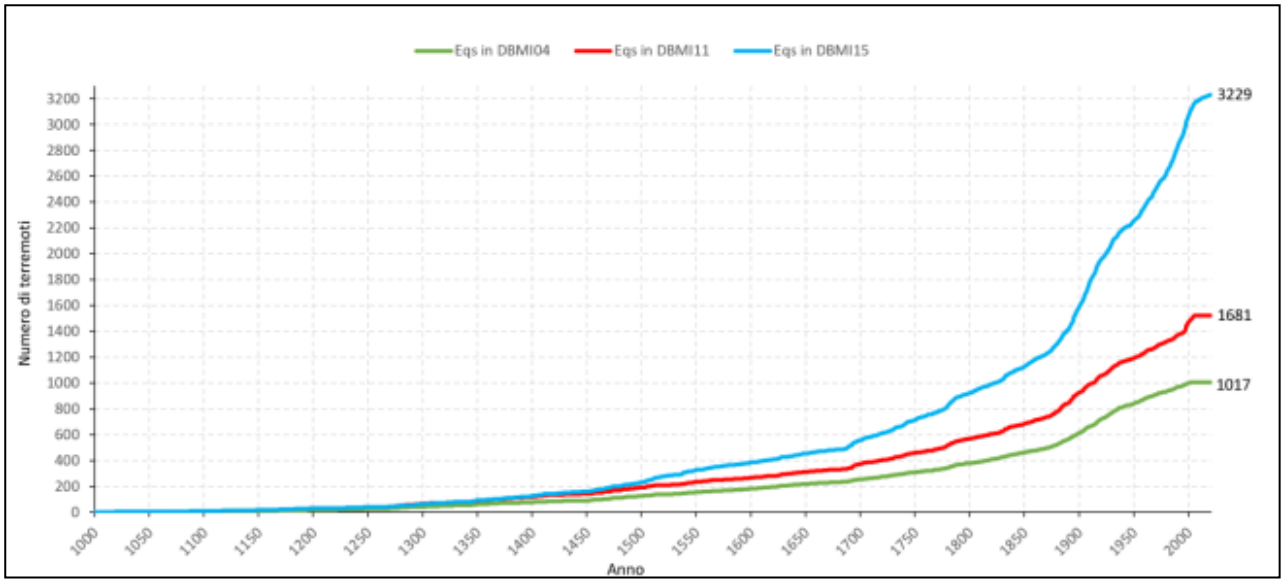


Figura 22: Confronto dell'andamento nel tempo del numero di terremoti: in verde DBMI04, in rosso DBMI11, e in azzurro DBMI15.

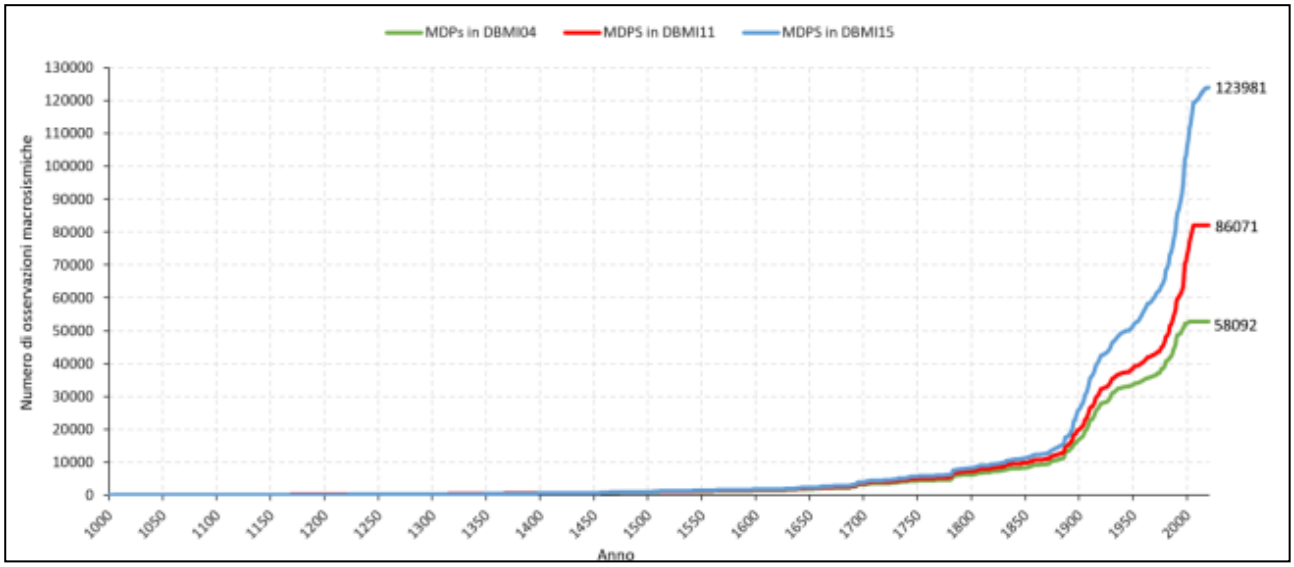


Figura 23: Confronto dell'andamento nel tempo del numero di MDP (Macroseismic Data Point): in verde DBMI04, in rosso DBMI11, e in azzurro DBMI15.

Di seguito viene riporta la mappa del catalogo CPTI15-DMBI15 desunta dal sito:

https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_eq/.

Siziano

PlaceID	IT_18154
Coordinate (lat, lon)	45.316, 9.202
Comune (ISTAT 2015)	Siziano
Provincia	Pavia
Regione	Lombardia
Numero di eventi riportati	1

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Vidigulfo	1	4
Landriano	1	4
Locate di Triulzi	1	5
Lacchiarella	1	5
Bornasco	1	6
Zeccone	1	6
Badile	2	7
Ceranova	2	7
Casarile	1	8
Certosa di Pavia	2	8
Rozzano	2	8
Torrevecchia Pia	1	8
Binasco	7	8
Bascapè	3	9
Lardirago	3	9
San Genesio Ed Uniti	1	9
Rognano	1	9
Borgarello	2	10
Pasturago	1	10

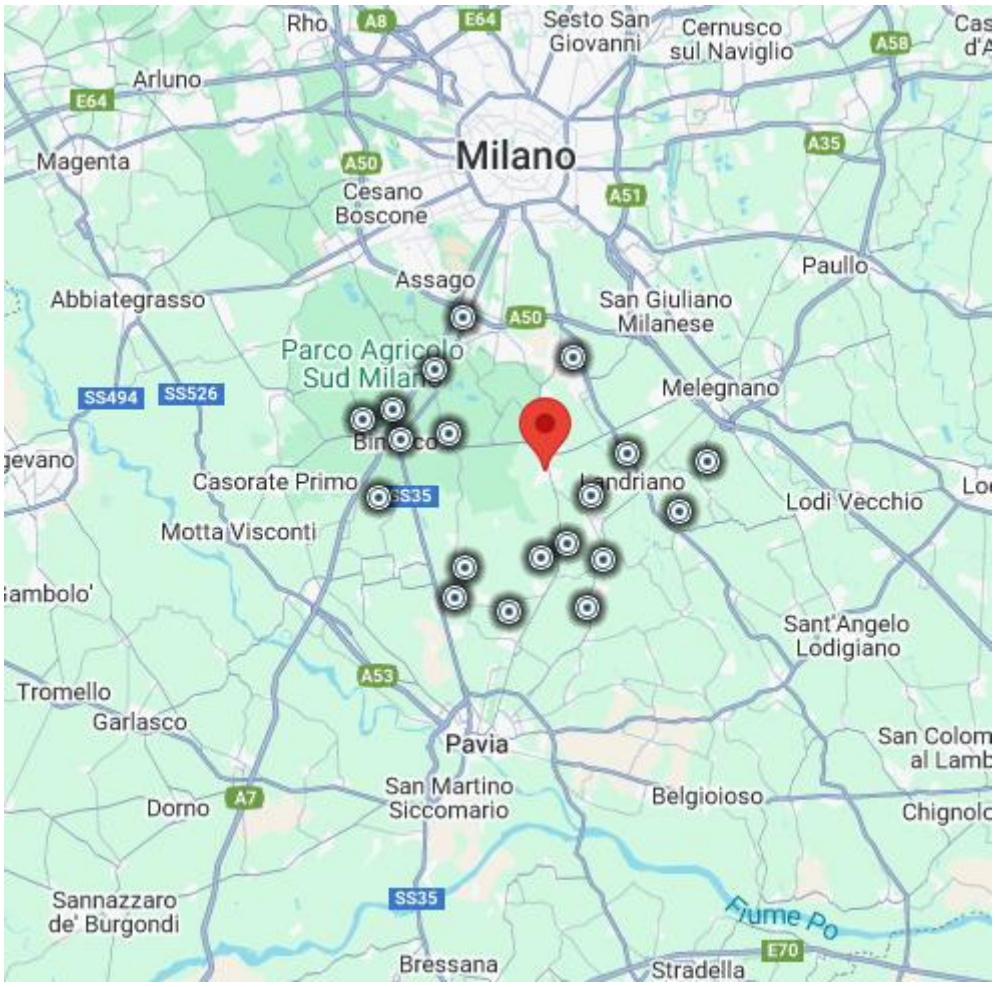


Figura 24: Dati desunti dalla consultazione del CPTI15 e DBMI15 per il comune di Siziano (PV).

10.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E CATEGORIA TOPOGRAFICA

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II definite in base ai valori della velocità equivalente $Vs_{,eq}$ corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente $Vs_{,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m.

L'espressione per la determinazione della velocità equivalente $Vs_{,eq}$ è la seguente:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}$$

hi = Spessore in metri dello strato i-esimo

Vi = Velocità dell'onda di taglio i-esima

N = Numero di strati

H = Profondità del substrato sismico con Vs>800m/s

Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata determinata tramite i dati ottenuti dalla prova sismica con metodologia M.A.S.W. eseguita in corrispondenza dell'area di indagine.

Dall'elaborazione di tali dati il terreno presenta per la verticale indagata, valori delle V_{seq} corrispondenti alle V_{s30} (il substrato simico non è stato intercettato entro i 30m di profondità) pari a **306 m/s** riferita all'attuale piano campagna.

Per la classificazione del suolo si è ritenuto più attendibile adottare le risultanze provenienti dalle prove eseguite in sito per cui il terreno è pertanto classificabile in **categoria C** *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 25: Tabella 3.2.II "Categoria di sottosuolo" – D.M. 17.10.2018.

Secondo la più recente revisione delle Norme Tecniche in vigore, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (categorie topografiche da NTC2018):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Figura 26: Tabella 3.2.III "Categoria topografica" – D.M. 17.10.2018

La categoria topografica del sito di intervento risulta T1.

10.4 FREQUENZA CARATTERISTICA DI RISONANZA DEL SITO

Per la verifica della presenza di eventuali orizzonti rifrattori più profondi rispetto alla massima profondità indagata con la sismica attiva oltre che per la determinazione dei valori di frequenza caratteristica del sito e del suolo è stata eseguita una acquisizione puntuale (TR1) in passivo del microtremore sismico ambientale mediante geofono triassiale 3D e per una durata di venti minuti.

Si riportano di seguito i relativi diagrammi H/V elaborati dalla misurazione effettuata sull'area di interesse.

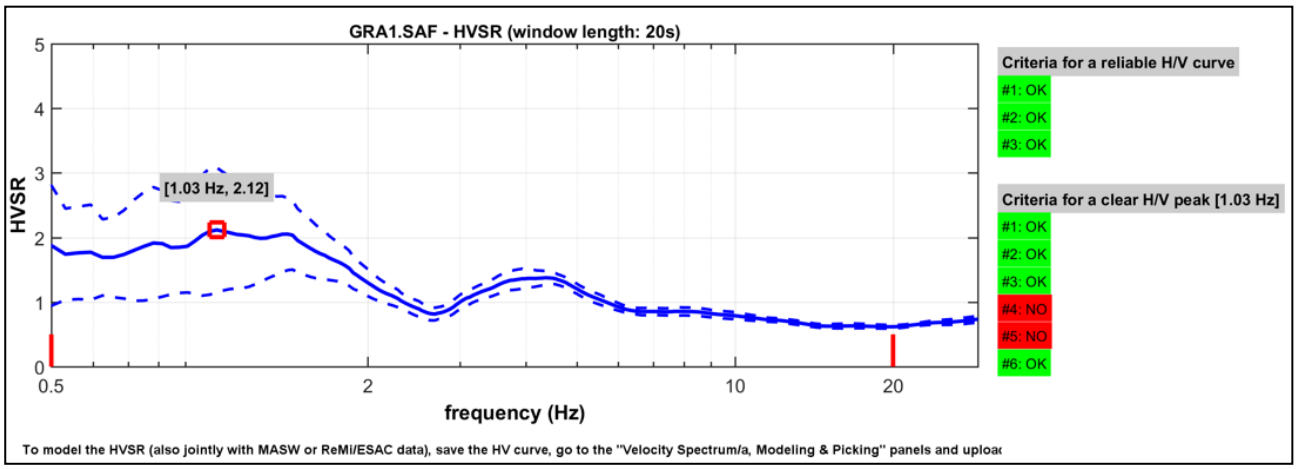


Figura 27: Rapporti spettrali H/V vs Hz rilevazione sismica passiva TR1.

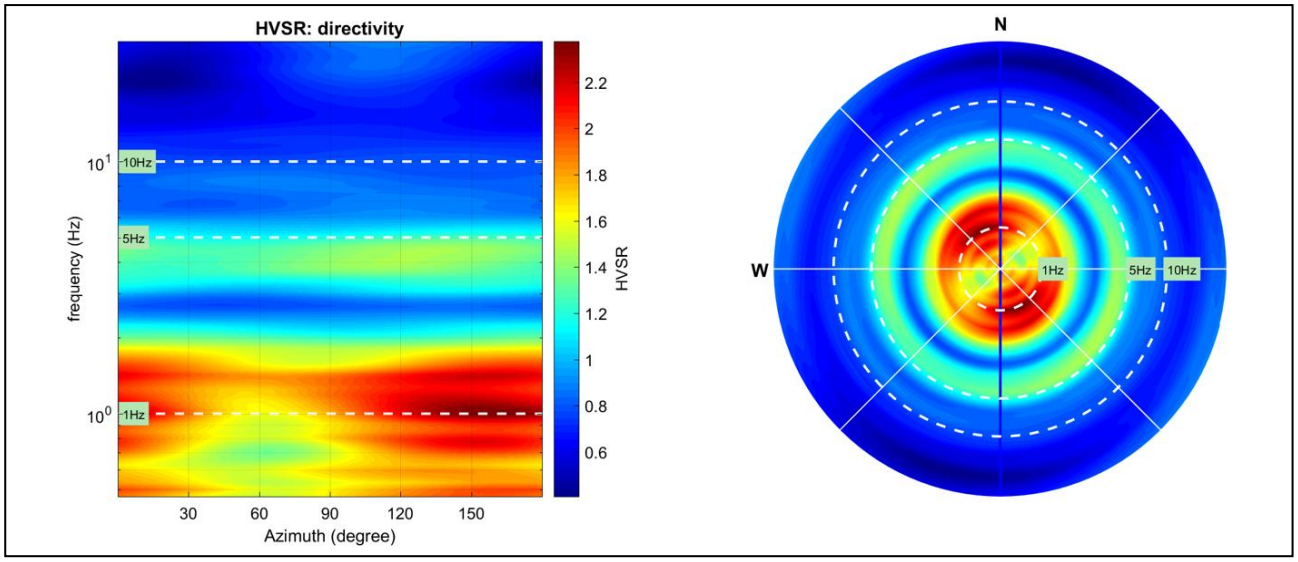


Figura 28: Direzionalità H/V rilevazione sismica passiva TR1.

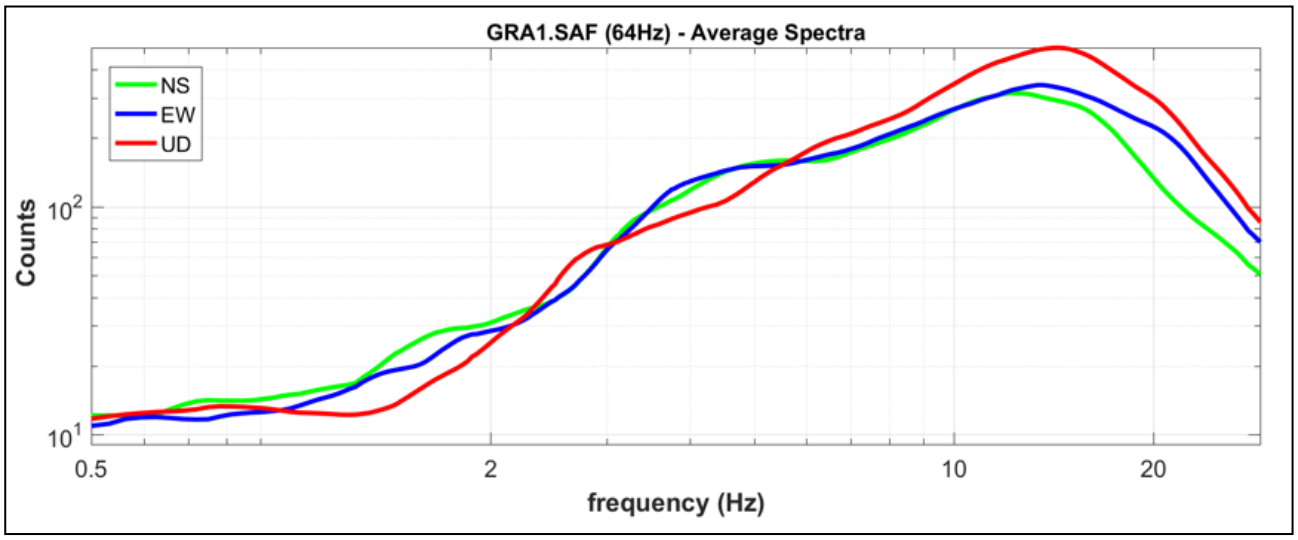


Figura 29: Spettri delle singole componenti rilevazione sismica passiva TR1.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dalla sua altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula:

freq. naturale edificio≅10 Hz / numeropiani

Si tenga conto che, se si verifica la seguente somiglianza tra risonanza del terreno e della struttura, si creano condizioni di pericolo, perché si dà luogo alla massima amplificazione:

freq. naturale edificio≅freq. naturale coperture

Dall'elaborazione dei risultati e dall'analisi degli stessi non si osservano importanti contrasti di impedenza che generano picchi accentuati anche se è possibile riconosce un picco principale alla frequenza di 1.03 Hz ed un picco di frequenza secondario a 4.0 Hz.

Si evince che tale valore di frequenza caratteristica e il valore di frequenza fondamentale di risonanza delle nuove strutture dovranno essere sufficientemente diversi così da non comportare il verificarsi di fenomeni di doppia risonanza.

10.5 ANALISI DI II LIVELLO

La valutazione degli effetti di amplificazione dovuti alla litologia è avvenuta mediante la procedura semplificata di 2° livello riportata nella D.G.R. 8/7374 del 28 Maggio 2008 e successivamente ripresa dalla D.G.R. IX/2616 del 30 Novembre 2011 di Regione Lombardia; la sua applicazione richiede la conoscenza della litologia prevalente dei materiali presenti in sito; e dell'andamento delle $V_{S,eq}$ con la profondità (spessore e velocità $V_{S,eq}$ di ciascuno strato); per la loro determinazione sono stati utilizzati i risultati ottenuti dalla esecuzione delle prove penetrometriche realizzate in sito unitamente ai dati relativi ad indagini geognostiche già realizzate ed alle stratigrafie delle indagini eseguite sul territorio comunale oltre che ai risultati emersi dall'esecuzione dell'indagine geofisica M.A.S.W.+H.V.S.R..

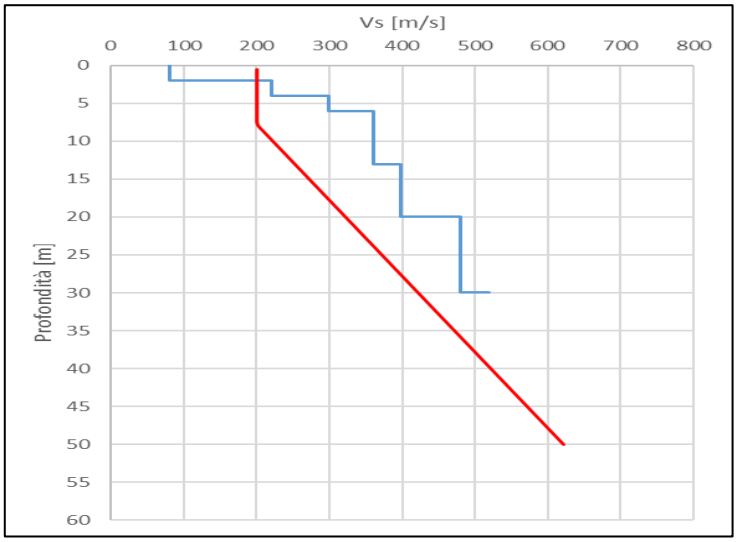
La procedura fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valori di Fattori di Amplificazione (F_a) dal punto di vista degli effetti litologici, al fine di determinare se la normativa nazionale risulta sufficiente o meno nella stima degli effetti di amplificazione sismica locale sulla base del confronto tra gli F_a calcolati e quelli di riferimento indicati dalla Regione Lombardia per ciascun comune; lo studio è condotto con metodi quantitativi semplificati, validi per le amplificazioni litologiche ed è utilizzato per caratterizzare l'area in esame in funzione del fattore F_a. Tale valore di F_a si riferisce quindi agli intervalli di periodo 0.1-0.5s e 0.5-1.5s, in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più rappresentate sul territorio regionale, rispettivamente riferibili a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide (max. 4 piani) ed a strutture alte e flessibili (5 o più piani).

Sulla base dei parametri geotecnici e litologici si individua la litologia prevalente del sito e da questa si sceglie la relativa scheda di riferimento tra quelle riportate nella citata normativa regionale, che può essere utilizzata se l'andamento delle $V_{S,eq}$ ricade nel campo di validità dell'apposito diagramma riportato nella scheda. Successivamente ricavando lo spessore del primo "sismo-strato" con $V_{S,eq}$ pari ad almeno 200 m/s (il cui spessore deve essere di almeno 4 metri) si determina quali curve tra quelle riportate nella scheda per i due diversi intervalli di periodo descritti occorre utilizzare per la valutazione del Fattore di Amplificazione, sulla base del periodo T del sito (calcolato a partire dall'andamento delle $V_{S,eq}$ con la profondità fino agli 800 m/s direttamente misurati o ipotizzati con adeguato gradiente).

STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI
ai sensi della D.G.R. IX/2616 - 30.11.2011 di Regione Lombardia

Scheda "LITOLOGIA LIMOSO-SABBIOSA TIPO 2"

L1		
Spess. (m)	Prof. (m)	V_s (m/s)
2,0	2,0	81
2,0	4,0	220
2,0	6,0	300
7,0	13,0	360
7,0	20,0	399
9,9	29,90	480
0,1	30,00	520



$V_{S,eq}$ (m/s)	Cat. sottosuolo
306	C

Periodo T (s)
0.51

Primo strato	
Prof. (m)	20,0
V_s (m/s)	305,33

Curva caratteristica	
n.	3

Profondità primo strato (m)

Velocità primo strato (m/s)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	35	40	50	60
200				1	1	1	1	1	1	1												
250				2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1							
300				3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2						
350				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
400				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3				
450				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
500				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
600				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
700				3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

VERIFICA

Periodo	Valori F_a di sito	Valori F_a di soglia Comune di SIZIANO			
		Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 < T < 0.5 s	**1.74**	1.40	**1.80**	2.20	2.00
0.5 < T < 1.5 s	**1.48**	1.70	**2.40**	4.20	3.10

La procedura ha permesso di stimare gli F_a con le schede di valutazione sopra riportate e di confrontarli con i corrispettivi valori di soglia, considerando una variabilità di ±0.1, che tiene conto la variabilità dei valori degli F_a ottenuti.

Dalla verifica deriva che, sia nel caso di edifici bassi (considerando come consentito da normativa la variabilità di ±0.1), che nel caso di edifici alti, il valore di F_a calcolato e riferito alla categoria di suolo C è inferiore al valore di riferimento; pertanto, lo spettro proposto dalla normativa per suoli di tipo C risulta sufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

11 PARAMETRI GEOTECNICI MEDI

Di seguito si riportano i parametri geotecnici medi dei terreni presenti nell'area di studio.

Strato	Profondità [m]	Litologia	γ [kN/m³]	c' [kPa]	cu [kPa]	ϕ' [°]	E' [Kg/cm²]	Eu [Kg/cm²]
R	da 0.0 a 1,50-2,0	Materiali eterogenei di riporto	-	-	-	-	-	-
1	da 1,50-2,0 a 2,50-6,0	Limi sabbiosi	18	20	-	27-28	90-110	-
2	da 2,50-6,0 a 4,0-7,0	Sabbie limose	18	-	-	33-34	140-180	-
3	da 4,0-7,0 a 7,0-11,5	Argille limose/limi argillosi	19	-	40	-	-	120-140
4	da 7,0-11,5 a 25,0-29,0	Alternanze di sabbie con ciottoli e sabbie limose	19	-	-	33-34	250-300	-
5	> 25,0-29,0	Sabbie limose	18	-	-	32-33	150-200	-

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione efficace

cu = coesione non drenata

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico drenato

Eu = modulo elastico non drenato

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda è stata riscontrata a profondità di circa -2,30 metri dall'attuale piano campagna.

12 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Di seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici dei terreni presenti nell'area di studio.

Strato	Profondità [m]	Litologia	γ [kN/m³]	c' [kPa]	cu [kPa]	ϕ' [°]	E' [Kg/cm²]	Eu [Kg/cm²]
R	da 0.0 a 1,50-2,0	Materiali eterogenei di riporto	-	-	-	-	-	-
1	da 1,50-2,0 a 2,50-6,0	Limi sabbiosi	18	20	-	27-28	90-110	-
2	da 2,50-6,0 a 4,0-7,0	Sabbie limose	18	-	-	33-34	140-180	-
3	da 4,0-7,0 a 7,0-11,5	Argille limose/limi argillosi	19	-	40	-	-	120-140
4	da 7,0-11,5 a 25,0-29,0	Alternanze di sabbie con ciottoli e sabbie limose	19	-	-	33-34	250-300	-
5	> 25,0-29,0	Sabbie limose	18	-	-	32-33	150-200	-

dove:

γ = peso di volume

c' = coesione efficace

cu = coesione non drenata

ϕ' = angolo d'attrito

E' = modulo elastico drenato

Eu = modulo elastico non drenato

Il modulo di Poisson è stato assunto pari a 0,3.

La falda è stata riscontrata a profondità di circa -2.20 metri dall'attuale piano campagna.

13 LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione interessa generalmente depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi sciolti, saturi e a granulometria uniforme, i quali a seguito di una sollecitazione sismica passano dallo stato solido a quello fluido, denotando una diminuzione della resistenza al taglio a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali (u), tale da generare deformazioni permanenti significative o persino dell'annullamento delle pressioni efficaci (σ') nel terreno.

La verifica della suscettibilità alla liquefazione deve essere effettuata quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda.

Secondo il D.M. 17.01.2018 tale verifica può invece essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometriche esterne alle zone indicate nella figura 31, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in figura 32, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

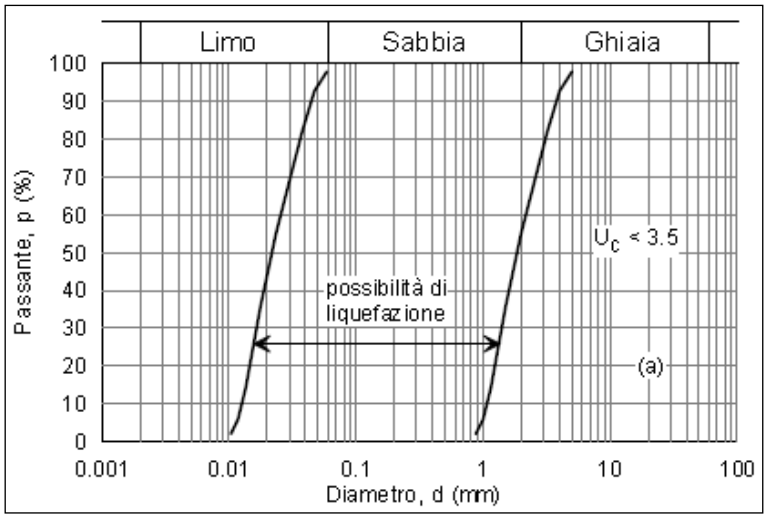


Figura 30: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con Uc < 3.5.

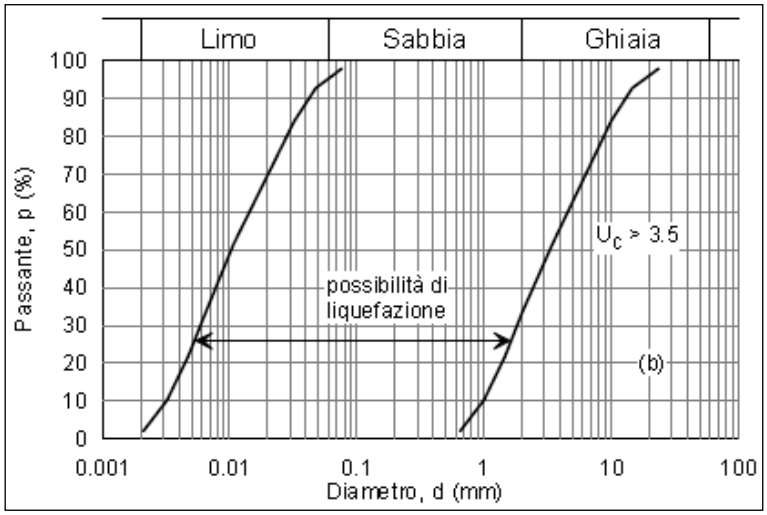


Figura 31: Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con Uc > 3.5.

Nel caso in esame si esclude il rischio di liquefazione in quanto non sussiste la circostanza di cui al precedente punto 1.: l'accelerazione massima attesa allo stato limite SLC risulta A_{max} (g) pari a 0.076g < 0.1g, determinata a seguito di specifica analisi di Risposta Sismica Locale, riportata in apposito elaborato.

14 CONCLUSIONI

Sulla base di quanto esposto nel presente elaborato si conclude quanto segue:

- La soggiacenza media della falda idrica nell'area, rilevata durante le indagini eseguite, è risultata pari a circa 3,0 metri da p.c.. L'oscillazione del livello della falda è localmente pari a circa ±1,0 m in relazione all'equilibrio dinamico tra l'entità dell'alimentazione della falda (data dalle precipitazioni e dalle pratiche irrigue in agricoltura) e l'estrazione della stessa.
- Durante la campagna d'indagine eseguita sono stati effettuati n.6 sondaggi a carotaggio continuo dei quali n.4 attrezzati a piezometro a tubo aperto, n.4 prove di permeabilità Lefranc in foro di sondaggio, n.8 prove penetrometriche statiche C.P.T., n.1 prova geofisica M.A.S.W., n.1 rilevazione sismica passiva H.V.S.R. e prove geotecniche di laboratorio su campioni di terreno indisturbati e rimaneggiati prelevati nei sondaggi.
- Il terreno indagato, con la metodologia M.A.S.W., presenta valori delle $V_{s,eq}$ corrispondenti alle V_{s30} riferiti all'attuale piano campagna che permettono di classificarlo in Categoria C.
- L'area oggetto di studio è classificata in zona sismica 3.
- Poiché le accelerazioni massime che fanno riferimento all'opera in progetto sono inferiori a 0.1g, si esclude la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione (NTC 2018).
- Al fine di stimare le azioni sismiche è stata redatta specifica analisi di Risposta Sismica Locale, riportata in apposito documento.
- L'area è stata investigata da un numero sufficiente di test in sito che hanno permesso di definire i parametri geotecnici del suolo.

ALLEGATO 1 – STRATIGRAFIE SONDAGGI

GEOREM Geological Service&Co.
Sede legale: via dei Martiri Partigiani 66 - 27049 STRADELLA (PV)
Sede Operativa:Via G. Bruno 17 - 27049 BRONI (PV)
info@georemservice.com

Committente	Cantiere	Indagine		Sondaggio
L22 spa	**Siziano MILL07**	**Caratterizzazione Geologica e Geotecnica**		**S1**
Responsabile	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Profondità Raggiunta	Quota Ass. P.C.
S.Scarabelli	**Continuo**	**Nenzi**	**30**	**0.00**
Inizio Esecuzione	Termine Esecuzione	Pagina	Casse Catalogatrici	
21/07/2025	**21/07/2025**	**1/2**	**S.Borella**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Campioni	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Piezometro	Falda	Permeabilità
1		Riporto antropico incoerente in matrice sabbioso ghiaiosa	1.50	%C=43	2-3-3 1.50 PA						
2		sabbia marrone sciolta con limo		%C=50						2.29	
3					1-3-4 3.00 PA						
4			4.99		2-3-4 4.50 PA	4.00 R 5.00		1			
5		sabbia rossa con ghiaiono e poco limo		%C=71							
6					2-6-4 6.00 PA						
7					1-5-5 7.50 PA	7.00 R 8.00					
8											
9					3-7-6 9.00 PA						
10					5-8-8 10.50 PA			2			
11			11.80			11.00 R 12.00					
12		sabbia grigiamlomosa con presenza di ciottoli ed intercalazioni piu limose		%C=89	6-8-10 12.00 PA						
13					8-7-10 13.50 PA						
14			15.00		9-11-13 15.00 PA	14.00 R 15.00		3			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo
Sonda: Nenzi

GEOREM Geological Service&Co.
Sede legale: via dei Martiri Partigiani 66 - 27049 STRADELLA (PV)
Sede Operativa:Via G. Bruno 17 - 27049 BRONI (PV)
info@georemservice.com

Committente	Cantiere	Indagine		Sondaggio
L22 spa	**Siziano MILL07**	**Caratterizzazione Geologica e Geotecnica**		**S1**
Responsabile	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Profondità Raggiunta	Quota Ass. P.C.
S.Scarabelli	**Continuo**	**Nenzi**	**30**	**0.00**
Inizio Esecuzione	Termine Esecuzione	Pagina	Casse Catalogatrici	
21/07/2025	**21/07/2025**	**2/2**	**S.Borella**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Campioni	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Piezometro	Falda	Permeabilità
16		sabbia rossa con poca ghiaia debolemte limosa	17.00	%C=70							
17		sabbia limosa marrone	17.80	%C=94	9-11-10 18.00 PA	18.00 R 19.00					
18		sabbia marrone con ciottoli e poco limo									
19											
20				%C=85				4			
21			22.00		7-12-11 21.00 PC						
22		sabbia grigia compatta con ciottoli		%C=100							
23			23.50								
24		sabbia marrone con ghiaia e rari ciottoli poco imo a intercalazioni			15-13-13 24.00 PA						
25								5			
26				%C=85							
27					11-10-12 27.00 PA						
28											
29			30.00		8-13-12 30.00 PA			6			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo
Sonda: Nenzi

MIL07 SIZIANO (PV) – S1 CASSETTA da 0.00m a 5.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S1 CASSETTA da 5.00m a 10.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S1 CASSETTA da 10.00m a 15.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S1 CASSETTA da 15.00m a 20.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S1 CASSETTA da 20.00m a 25.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S1 CASSETTA da 25.00m a 30.00m

GEOREM Geological Service&Co.
Sede legale: via dei Martiri Partigiani 66 - 27049 STRADELLA (PV)
Sede Operativa:Via G. Bruno 17 - 27049 BRONI (PV)
info@georemservice.com

Committente	Cantiere	Indagine		Sondaggio
L22 spa	**Siziano MILL07**	**Caratterizzazione Geologica e Geotecnica**		**S2**
Responsabile	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Profondità Raggiunta	Quota Ass. P.C.
S.Scarabelli	**Continuo**	**Nenzi**	**30**	**0.00**
Inizio Esecuzione	Termine Esecuzione	Pagina	Casse Catalogatrici	
22/07/2025	**22/07/2025**	**1/2**	**S.Borella**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Campioni	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Piezometro	Falda	Permeabilità
1		Riporto antropico incoerente in matrice sabbioso ghiaiosa con livelli fini	1.50	%C=77	1-2-3 1.50 PA						
2		sabbia marrone sciolta con limo e ciottoli		%C=60	1-4-4 3.00 PA	2.00 R 3.00				2.31	
3											
4					3-3-4 4.50 PA						
5								1			
6			7.00		4-3-4 6.00 PA						
7		mimo sabbioso grigio conn piccoli ciottoli	8.00	%C=90	1-2-2 7.50 PA	7.40 S 8.00					
8		sabbia grigia limosa con presenza di ciottoli		%C=70		R					
9					3-7-7 9.00 PA	9.00					
10					2-8-6 10.50 PA			2			
11			12.00			11.00 R 12.00					
12		sabbia marrone con ghiaia e rari ciottoli		%C=75	5-6-7 12.00 PA						
13					6-10-9 13.50 PA						
14			15.00		7-8-10 15.00 PA			3			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo
Sonda: Nenzi

GEOREM Geological Service&Co.
Sede legale: via dei Martiri Partigiani 66 - 27049 STRADELLA (PV)
Sede Operativa:Via G. Bruno 17 - 27049 BRONI (PV)
info@georemservice.com

Committente	Cantiere	Indagine		Sondaggio
L22 spa	**Siziano MILL07**	**Caratterizzazione Geologica e Geotecnica**		**S2**
Responsabile	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Profondità Raggiunta	Quota Ass. P.C.
S.Scarabelli	**Continuo**	**Nenzi**	**30**	**0.00**
Inizio Esecuzione	Termine Esecuzione	Pagina	Casse Catalogatrici	
22/07/2025	**22/07/2025**	**2/2**	**S.Borella**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Campioni	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Piezometro	Falda	Permeabilità
16, 17, 18, 19, 20		sabbia marrone con ghiaia e rari ciottoli 15.00	20.50	%C=75	7-9-9 18.00 PA	18.00 R 19.00		4			
		sabbia limosa compatta	20.80	%C=100							
21, 22, 23		sabbia marrone con ghiaia e rari ciottoli	24.00	%C=90	8-9-10 21.00 PC 5-13-10 24.00 PA						
24		sabbia marrone grossolana	25.01	%C=96				5			
25		sabbia grigia limosa compatta	25.30	%C=100							
26, 27, 28		sabbia marrone con ghiaia e rari ciottoli	29.00	%C=90	5-10-10 27.00 PA						
29		sabbia marone grossolana	30.00	%C=95	11-13-14 30.00 PA			6			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo
Sonda: Nenzi

MIL07 SIZIANO (PV) – S2 CASSETTA da 0.00m a 5.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S2 CASSETTA da 5.00m a 10.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S2 CASSETTA da 10.00m a 15.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S2 CASSETTA da 15.00m a 20.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S2 CASSETTA da 20.00m a 25.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – S2 CASSETTA da 25.00m a 30.00m

GEOREM Geological Service&Co.
Sede legale: via dei Martiri Partigiani 66 - 27049 STRADELLA (PV)
Sede Operativa:Via G. Bruno 17 - 27049 BRONI (PV)
info@georemservice.com

Committente	Cantiere	Indagine		Sondaggio
L22 spa	**Siziano MILL07**	**Caratterizzazione Geologia e Geotecnica**		**PZ1**
Responsabile	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Profondità Raggiunta	Quota Ass. P.C.
S.Scarabelli	**Continuo**	**Nenzi**	**30**	**0.00**
Inizio Esecuzione	Termine Esecuzione	Pagina	Casse Catalogatrici	
23/07/2025	**23/07/2025**	**1/2**	**S.Borella**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Campioni	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Piezometro	Falda	Permeabilità
1		Riporto antropico incoerente in matrice sabbioso ghiaiosa	2.00	%C=50	2-5-7 1.50 PA						K 3x10-5 m/s 1.50
2		sabbia marrone compatta poca ghiaia e rari ciotoli	5.50	%C=75	5-8-10 3.00 PA; 2-7-11 4.50 PA	3.00 R 4.00		1		2.35	
6		limo argilloso grigio con poca sabbia molle	9.00	%C=70	2-3-4 6.00 PA; 1-2-4 7.50 PA; 2-4-5 9.00 PA	7.50 R 8.00; 8.00 S 8.50					
9		sabbia marrone debolmente ghiaiosa con rari ciottoli	15.00	%C=90	-3-5-8 10.50 PA; 2-5-10 12.00 PA; 2-6-8 13.50 PA; 5-7-9 15.00 PA	10.00 R 11.00; 14.00 R 15.00		2; 3			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo
Sonda: Nenzi

GEOREM Geological Service&Co.
Sede legale: via dei Martiri Partigiani 66 - 27049 STRADELLA (PV)
Sede Operativa:Via G. Bruno 17 - 27049 BRONI (PV)
info@georemservice.com

Committente	Cantiere	Indagine		Sondaggio
L22 spa	**Siziano MILL07**	**Caratterizzazione Geologia e Geteclnica**		**PZ1**
Responsabile	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Profondità Raggiunta	Quota Ass. P.C.
S.Scarabelli	**Continuo**	**Nenzi**	**30**	**0.00**
Inizio Esecuzione	Termine Esecuzione	Pagina	Casse Catalogatrici	
23/07/2025	**23/07/2025**	**2/2**	**S.Borella**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Campioni	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Piezometro	Falda	Permeabilità
16		sabbia rossa con poca ghiaia debolemte limosa	16.40	%C=70							
17		sabbia rossa con poca ghiaia debolemte limosa	17.40	%C=76							
		sabbia limosa marrone	17.60	%C=94							
18		sabbia rossa con poca ghiaia marrone	19.00	%C=81	7-10-9 18.00 PA	18.00 R 19.00					
19		limo sabbioso con sabbia grigio marrone	20.20	%C=98				4			
21		sabbia marrrone con poco limo	23.00	%C=73	4-7-10 21.00 PC						
23		sabbia derossa debolmente ghiaiosa	23.30	%C=73							
24		sabbia marrone compatta	25.02	%C=95	16-18-20 24.00 PA			5			
25		sabbia marrone con poca ghiaia	30.00	%C=70	13-20-15 27.00 PA 10-13-12 30.00 PA			6			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo
Sonda: Nenzi

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ1 CASSETTA da 0.00m a 5.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ1 CASSETTA da 5.00m a 10.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ1 CASSETTA da 10.00m a 15.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ1 CASSETTA da 15.00m a 20.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ1 CASSETTA da 20.00m a 25.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ1 CASSETTA da 25.00m a 30.00m

Sede legale: via dei Martiri Partigiani 66 - 27049 STRADELLA (PV)
Sede Operativa:Via G. Bruno 17 - 27049 BRONI (PV)
info@georemservice.com

Committente	Cantiere	Indagine		Sondaggio
L22 spa	**Siziano MILL07**	**Caratterizzazione Geologica e Geotecnica**		**PZ2**
Responsabile	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Profondità Raggiunta	Quota Ass. P.C.
S.Scarabelli	**Continuo**	**Nenzi**	**10**	**0.00**
Inizio Esecuzione	Termine Esecuzione	Pagina	Casse Catalogatrici	
21/07/2025	**21/07/2025**	**1/1**	**S.Borella**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Campioni	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Piezometro	Falda	Permeabilità
1		Riporto antropico incoerente in matrice sabbioso ghiaiosa	1.40	%C=50							K 5x10-5 m/s 1.50
2		sabbia rosso grossolana con ghiaino e ciottoli	3.00	%C=75	2-2-2 1.50 PA 3-5-3 3.00 PA	2.00 R 3.00				2.40	
3		sabbia e ghiaia sciolta con rari ciottoli	10.00	%C=55	2-5-6 4.50 PA 1-6-5 6.00 PA 3-3-3 7.50 PA 3-6-6 9.00 PA	4.00 R 5.00 7.00 R 8.00		1 2			
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo
Sonda: Nenzi

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ2 CASSETTA da 0.00m a 5.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ2 CASSETTA da 5.00m a 10.00m

GEOREM Geological Service&Co.
Sede legale: via dei Martiri Partigiani 66 - 27049 STRADELLA (PV)
Sede Operativa:Via G. Bruno 17 - 27049 BRONI (PV)
info@georemservice.com

Committente	Cantiere	Indagine		Sondaggio
L22 spa	**Siziano MILL07**	**Caratterizzazione Geologica e Geotecnica**		**PZ3**
Responsabile	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Profondità Raggiunta	Quota Ass. P.C.
S.Scarabelli	**Continuo**	**Nenzi**	**10**	**0.00**
Inizio Esecuzione	Termine Esecuzione	Pagina	Casse Catalogatrici	
22/07/2025	**22/07/2025**	**1/1**	**S.Borella**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Campioni	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Piezometro	Falda	Permeabilità
1		Riporto antropico incoerente in matrice sabbioso ghiaiosa	2.00	%C=50							K 5x10-5 m/s 1.50
2–4		limo sabbioso poco consistente	4.30	%C=90	1-2-2 3.00 PA	3.00 S 3.60				2.40	
4		sabbia limosa grigia con ghiaino	5.00	%C=75	1-3-4 4.50 PA			1			
5–6		sabbia con ghiaia e ciottoli	7.00	%C=70	3-6-6 6.00 PA						
7–8		sabbia grigia con poca giaia e rari ciottoli	9.02	%C=80	4-6-7 7.50 PA						
9		sabbia marone con rari ciottoli	9.98	%C=85	8-8-6 9.00 PA			2			
10–13											

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo
Sonda: Nenzi

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ3 CASSETTA da 0.00m a 5.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ3 CASSETTA da 5.00m a 10.00m

Sede legale: via dei Martiri Partigiani 66 - 27049 STRADELLA (PV)
Sede Operativa:Via G. Bruno 17 - 27049 BRONI (PV)
info@georemservice.com

Committente	Cantiere	Indagine		Sondaggio
L22 spa	**Siziano MILL07**	**Caratterizzazione Geologica e Geotecnica**		**PZ4**
Responsabile	Tipo Carotaggio	Tipo Sonda	Profondità Raggiunta	Quota Ass. P.C.
S.Scarabelli	**Continuo**	**Nenzi**	**10**	**0.00**
Inizio Esecuzione	Termine Esecuzione	Pagina	Casse Catalogatrici	
22/07/2025	**22/07/2025**	**1/1**	**S.Borella**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Parametri geotecnici	S.P.T.	Campioni	Stabilizzazione	Cass.Catalog.	Piezometro	Falda	Permeabilità
		Riporto antropico incoerente in matrice sabbioso ghiaiosa	1.00	%C=50							
1		limo sabbioso poco consistente	3.00	%C=90	3-5-2 1.50 PA 1-1-3 3.00 PA	3.00 S 3.60				2.40	K 3x10-5 m/s 1.50
3		sabbia limosa grigia con ghiaino e ciottoli	8.00	%C=70	3-5-4 4.50 PA 2-6-5 6.00 PA 3-8-5 7.50 PA			1			
8		limo argilloso grigio con poca sabbia	10.00	%C=96	1-2-2 9.00 PA			2			

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonitici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo
Sonda: Nenzi

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ3 CASSETTA da 0.00m a 5.00m

MIL07 SIZIANO (PV) – PZ3 CASSETTA da 5.00m a 10.00m

ALLEGATO 2 – RISULTATI PROVE DI PERMEABILITÀ

PERMEABILITY TEST
STACK MIL07
VIA LOMBARDIA - SIZIANO (PV)

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE (con; h/d >4) PROVA 1

DATI DEL SONDAGGIO

DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGGIO (mm): **d**	130
LIVELLO FREATICO (m): **F**	-0,10
PIANO CAMPAGNA (m): **I**	0,00

TRATTO INDAGATO

Superiore (m): **L**	1,50	Lunghezza interessata (m): **h**	0,30
Inferiore (m): **P**	1,80		

DATI

Tempo (min.): **t**	15,0	Tiempo (s):	900
Profondità iniziale (m.): **Hi**			0,11
Profondità finale (m.): **Hf**			1,79
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGGIO (m):			0,13

Tempo (min.)	Intervalli (min.)	Abbassamenti totali (cm)	Abbassamenti (cm)	Livello freatico (m):
0,083	0,083	1,000	1,000	-0,110
0,160	0,077	2,000	1,000	-0,120
0,330	0,170	4,000	2,000	-0,140
0,660	0,330	9,000	5,000	-0,190
1,000	0,340	21,000	12,000	-0,310
2,000	1,000	47,000	26,000	-0,570
3,000	1,000	99,000	52,000	-1,090
4,000	1,000	131,000	32,000	-1,410
5,000	1,000	156,000	25,000	-1,660
10,000	5,000	165,000	9,000	-1,750
15,000	5,000	169,000	4,000	-1,790

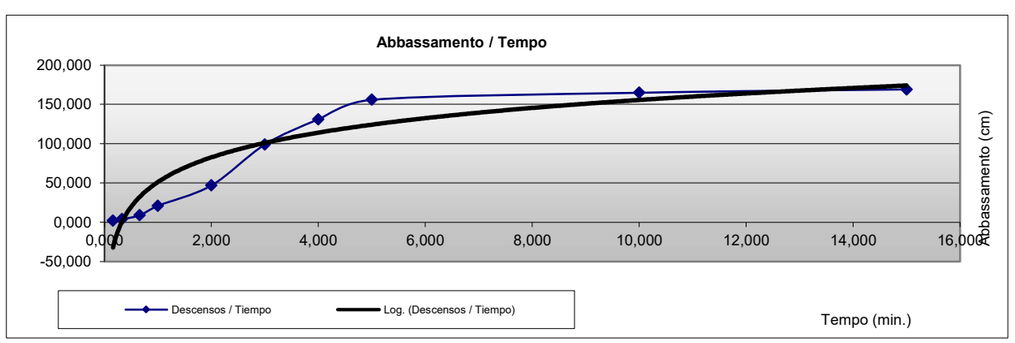
RISULTATI

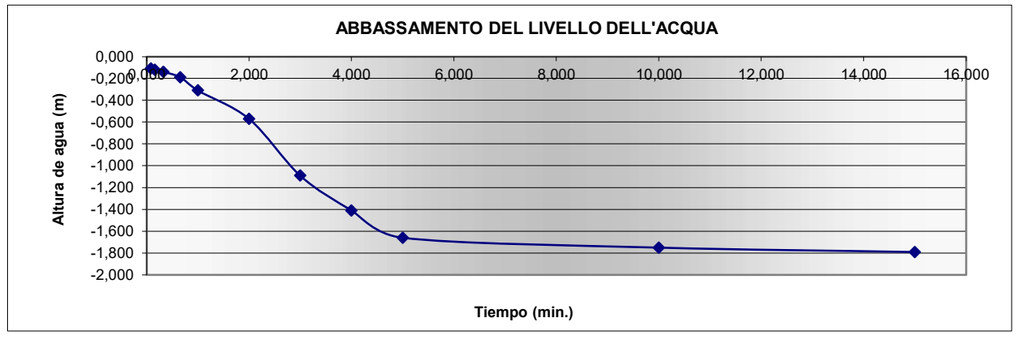
PERMEABILITA' LEFRANC	K (m/s) =	3,3379E-05

Jiménez Salas (1981).

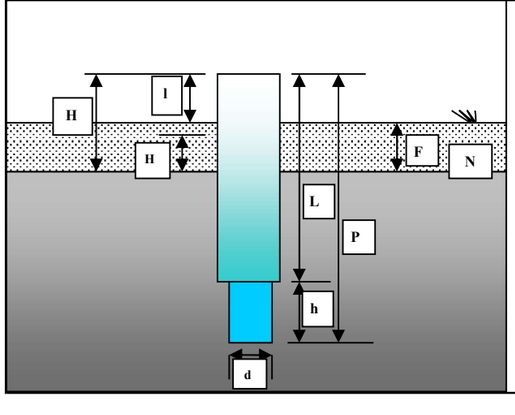
per h/d > 4:

$$K = \frac{(d)^2 \cdot Ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot Ln\frac{Hi}{Hf}$$





SCHEMA



PERMEABILITY TEST
STACK MIL07
VIA LOMBARDIA - SIZIANO (PV)

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE (con; h/d >4) PROVA 2

DATI DEL SONDAGGIO

DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGGIO (mm): **d**	130
LIVELLO FREATICO (m): **F**	-0,20
PIANO CAMPAGNA (m): **I**	0,00

TRATTO INDAGATO

Superiore (m): **L**	1,50	Lunghezza interessata (m): **h**	0,30
Inferiore (m): **P**	1,80		

DATI

Tempo (min.): **t**	15,0	Tiempo (s):	900
Profondità iniziale (m.): **Hi**			-0,21
Profondità finale (m.): **Hf**			-1,71
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGGIO (m):			0,13

Tempo (min.)	Intervalli (min.)	Abbassamenti totali (cm)	Abbassamenti (cm)	Livello freatico (m):
0,083	0,083	1,000	1,000	-0,210
0,160	0,077	2,000	1,000	-0,220
0,330	0,170	5,000	3,000	-0,250
0,660	0,330	10,000	5,000	-0,300
1,000	0,340	20,000	10,000	-0,400
2,000	1,000	39,000	19,000	-0,590
3,000	1,000	85,000	46,000	-1,050
4,000	1,000	125,000	40,000	-1,450
5,000	1,000	136,000	11,000	-1,560
10,000	5,000	145,000	9,000	-1,650
15,000	5,000	151,000	6,000	-1,710

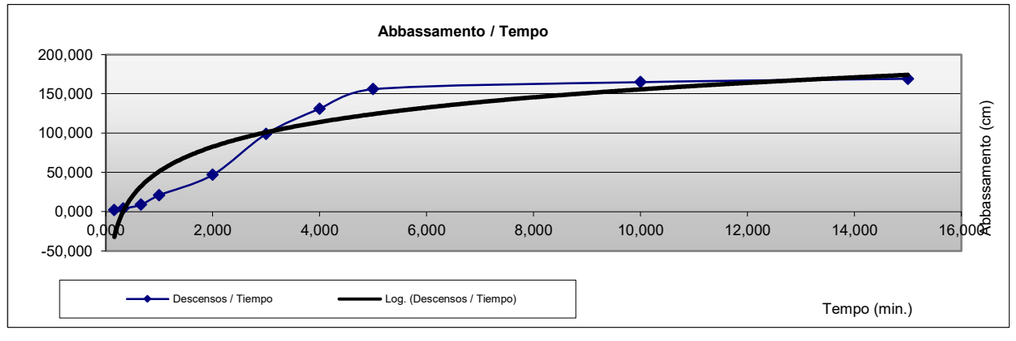
RISULTATI

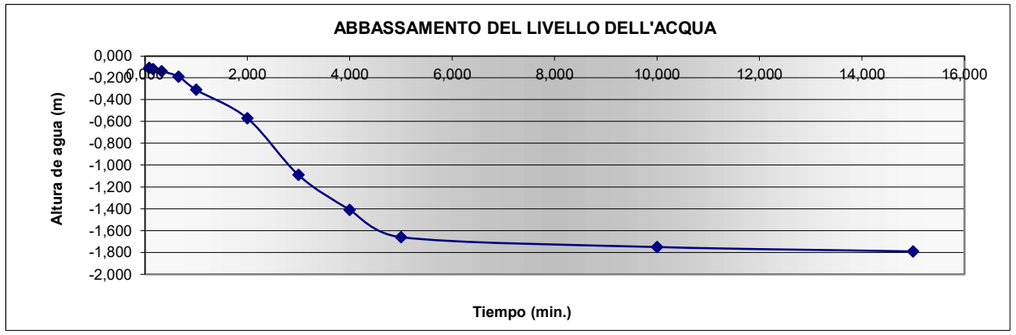
PERMEABILITA' LEFRANC	K (m/s) =	2,5095E-05

Jiménez Salas (1981).

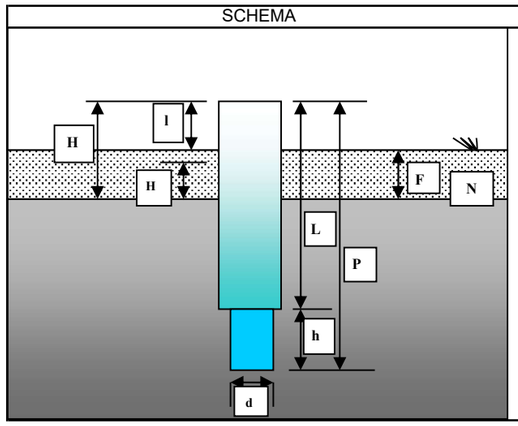
per h/d > 4:

$$K = \frac{(d)^2 \cdot Ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot Ln\frac{Hi}{Hf}$$





SCHEMA



PERMEABILITY TEST
STACK MIL07
VIA LOMBARDIA - SIZIANO (PV)

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE (con; h/d >4) PROVA 3

DATI DEL SONDAGGIO

DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGGIO (mm): **d**	130
LIVELLO FREATICO (m): **F**	-0,30
PIANO CAMPAGNA (m): **I**	0,10

TRATTO INDAGATO

Superiore (m): **L**	1,40	Lunghezza interessata (m): **h**	0,30
Inferiore (m): **P**	1,70		

DATI

Tempo (min.): **t**	15,0	Tiempo (s):	900
Profondità iniziale (m.): **Hi**			-0,21
Profondità finale (m.): **Hf**			-1,51
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGGIO (m):			0,13

Tempo (min.)	Intervalli (min.)	Abbassamenti totali (cm)	Abbassamenti (cm)	Livello freatico (m):
0,083	0,083	1,000	1,000	-0,210
0,160	0,077	2,000	1,000	-0,220
0,330	0,170	4,000	2,000	-0,240
0,660	0,330	8,000	4,000	-0,280
1,000	0,340	18,000	10,000	-0,380
2,000	1,000	35,000	17,000	-0,550
3,000	1,000	84,000	49,000	-1,040
4,000	1,000	111,000	27,000	-1,310
5,000	1,000	122,000	11,000	-1,420
10,000	5,000	129,000	7,000	-1,490
15,000	5,000	131,000	2,000	-1,510

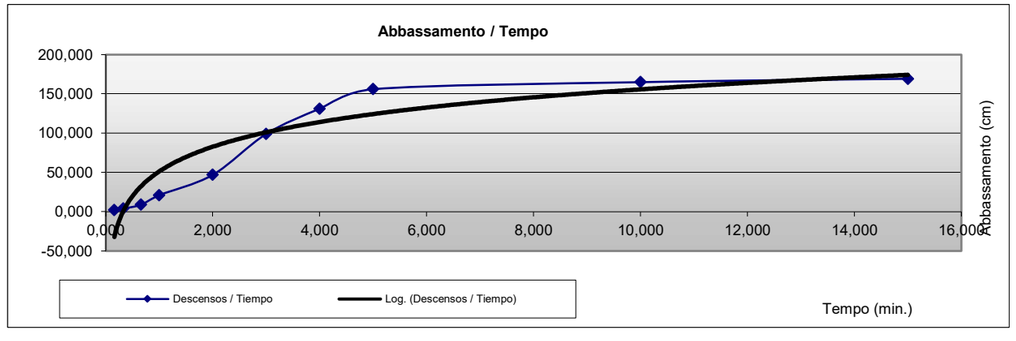
RISULTATI

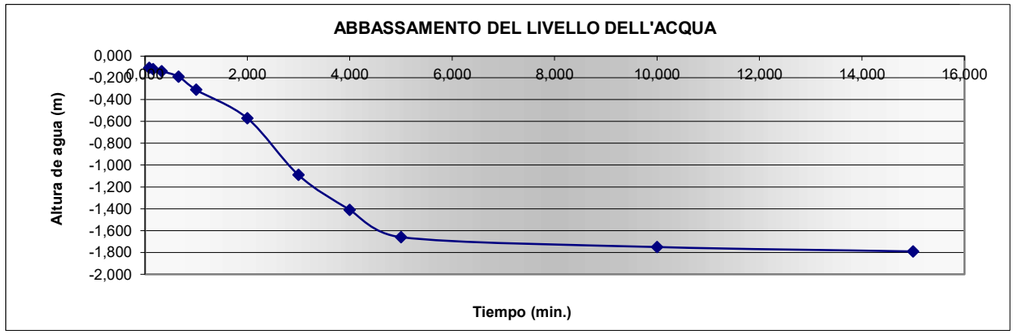
PERMEABILITA' LEFRANC	K (m/s) =	2,3606E-05

Jiménez Salas (1981).

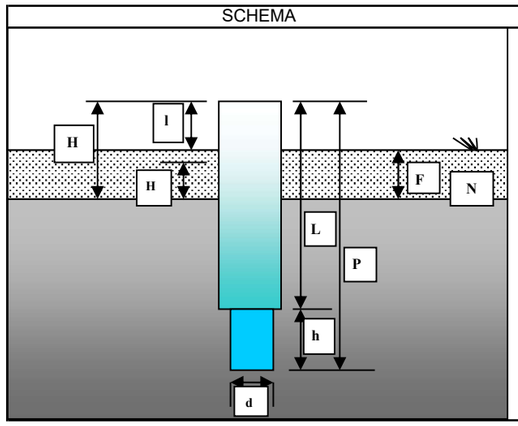
per h/d > 4:

$$K = \frac{(d)^2 \cdot Ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot Ln\ \frac{Hi}{Hf}$$





SCHEMA



PERMEABILITY TEST
STACK MIL07
VIA LOMBARDIA - SIZIANO (PV)

PROVA DI PERMEABILITÀ LEFRANC PER CARICO VARIABILE (con; h/d >4) PROVA 4

DATI DEL SONDAGGIO

DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGGIO (mm): **d**	130
LIVELLO FREATICO (m): **F**	0,00
PIANO CAMPAGNA (m): **I**	0,00

TRATTO INDAGATO

Superiore (m): **L**	0,65	Lunghezza interessata (m): **h**	0,10
Inferiore (m): **P**	0,75		

DATI

Tempo (min.): **t**	15,0	Tiempo (s):	900
Profondità iniziale (m.): **Hi**			-0,01
Profondità finale (m.): **Hf**			-0,66
DIAMETRO INTERNO DEL SONDAGGGIO (m):			0,13

Tempo (min.)	Intervalli (min.)	Abbassamenti totali (cm)	Abbassamenti (cm)	Livello freatico (m):
0,083	0,083	1,000	1,000	-0,010
0,160	0,077	2,000	1,000	-0,020
0,330	0,170	3,000	1,000	-0,030
0,660	0,330	6,000	3,000	-0,060
1,000	0,340	12,000	6,000	-0,120
2,000	1,000	25,000	13,000	-0,250
3,000	1,000	38,000	13,000	-0,380
4,000	1,000	45,000	7,000	-0,450
5,000	1,000	52,000	7,000	-0,520
10,000	5,000	60,000	8,000	-0,600
15,000	5,000	66,000	6,000	-0,660

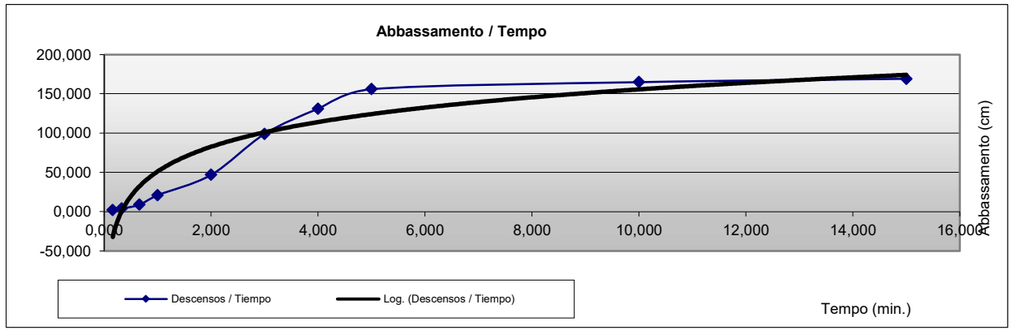
RISULTATI

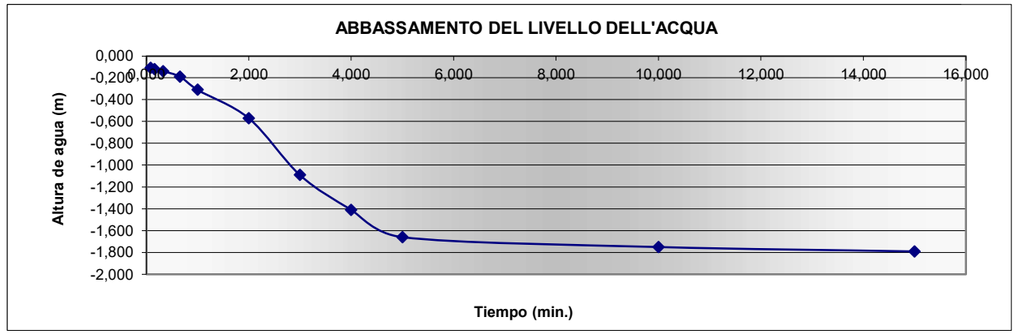
PERMEABILITA' LEFRANC	K (m/s) =	4,2363E-05

Jiménez Salas (1981).

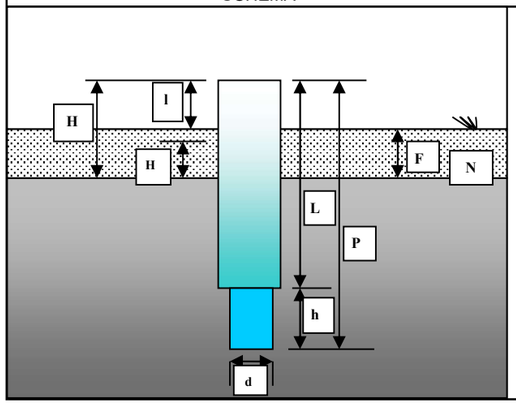
per h/d > 4:

$$K = \frac{(d)^2 \cdot Ln\left(\frac{2h}{d}\right)}{8 \cdot h \cdot t} \cdot Ln\ \frac{Hi}{Hf}$$





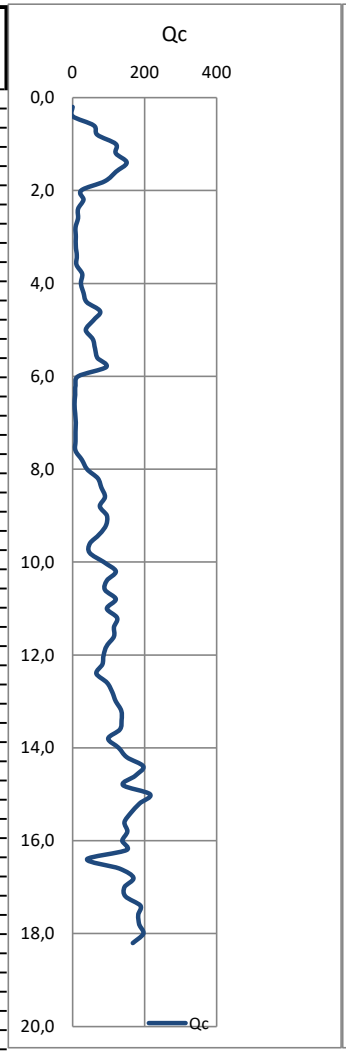
SCHEMA

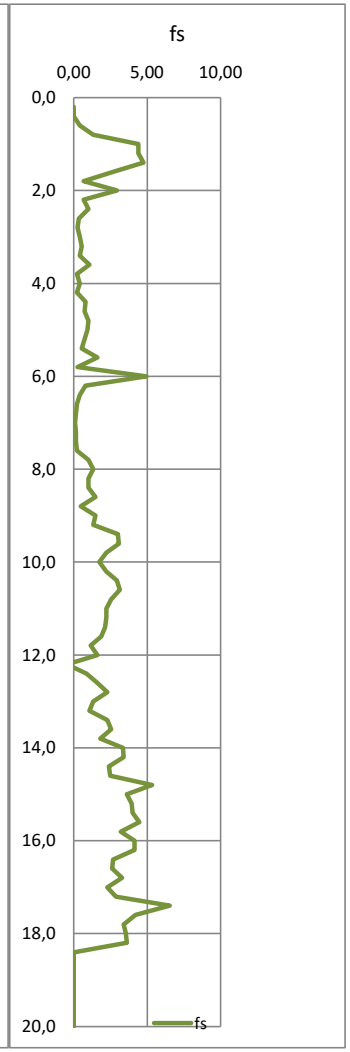


ALLEGATO 3 – GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE

CLIENTE: Lombardini 22 Spa	Prova: *CPT 1*	Profondità raggiunta: 18,2 m.	Quota Ass P.C: - - *m.*
SITO: Siziano (PV) MILL07	Penetrom: *Pagani*	Data esecuzione: 06/12/2024	Coo: - - - -

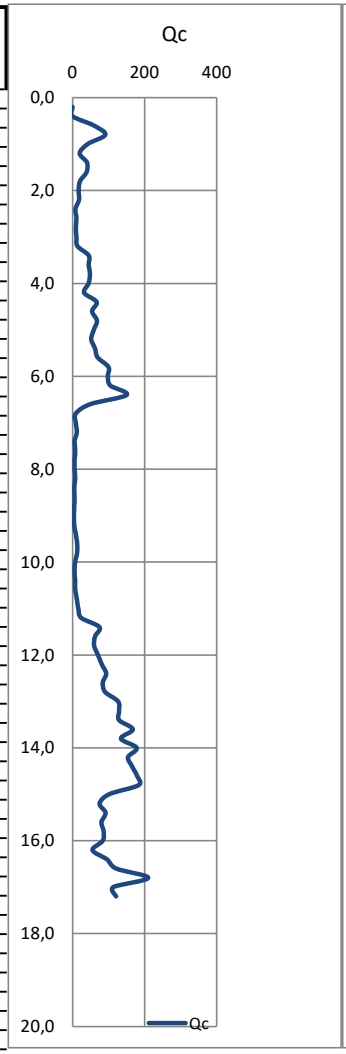
Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs
	0,2	0	0	0,00		10,2	120	153	2,20		20,2			
	0,4	0	0	0,00		10,4	95	139	2,93		20,2			
1	0,6	59	65	0,40	11	10,6	90	137	3,13	21	20,4			
	0,8	69	89	1,33		10,8	120	158	2,53		20,6			
	1,0	120	186	4,40		11,0	95	128	2,20		20,8			
	1,2	120	186	4,40		11,2	124	157	2,20		21,0			
	1,4	150	221	4,73		11,4	115	147	2,13		21,2			
2	1,6	120	160	2,67	12	11,6	115	143	1,87	22	21,4			
	1,8	90	100	0,67		11,8	95	112	1,13		21,6			
	2,0	24	68	2,93		12,0	86	110	1,60		21,8			
	2,2	30	40	0,67		12,2	83	76	-0,47		22,0			
	2,4	15	30	1,00		12,4	66	79	0,87		22,2			
3	2,6	15	20	0,33	13	12,6	96	120	1,60	23	22,4			
	2,8	8	12	0,27		12,8	110	144	2,27		22,6			
	3,0	9	15	0,40		13,0	120	140	1,33		22,8			
	3,2	9	17	0,53		13,2	135	151	1,07		23,0			
	3,4	12	18	0,40		13,4	136	170	2,27		23,2			
4	3,6	11	27	1,07	14	13,6	132	170	2,53	24	23,4			
	3,8	27	30	0,20		13,8	99	126	1,80		23,6			
	4,0	23	29	0,40		14,0	128	178	3,33		23,8			
	4,2	30	33	0,20		14,2	150	201	3,40		24,0			
	4,4	39	51	0,80		14,4	196	232	2,40		24,2			
5	4,6	77	88	0,73	15	14,6	174	211	2,47	25	24,6			
	4,8	57	72	1,00		14,8	140	220	5,33		24,8			
	5,0	37	51	0,93		15,0	215	269	3,60		25,0			
	5,2	56	67	0,73		15,2	186	245	3,93		25,2			
	5,4	62	70	0,53		15,4	162	222	4,00		25,4			
6	5,6	69	93	1,60	16	15,6	144	211	4,47	26	25,6			
	5,8	93	97	0,27		15,8	152	200	3,20		25,8			
	6,0	15	89	4,93		16,0	138	200	4,13		26,0			
	6,2	8	20	0,80		16,2	150	212	4,13		26,2			
	6,4	7	13	0,40		16,4	40	80	2,67		26,4			
7	6,6	6	9	0,20	17	16,6	130	169	2,60	27	26,6			
	6,8	7	9	0,13		16,8	169	218	3,27		26,8			
	7,0	9	10	0,07		17,0	144	178	2,27		27,0			
	7,2	8	10	0,13		17,2	147	190	2,87		27,2			
	7,4	8	10	0,13		17,4	188	286	6,53		27,4			
8	7,6	8	11	0,20	18	17,6	182	245	4,20	28	27,6			
	7,8	26	41	1,00		17,8	185	236	3,40		27,8			
	8,0	40	60	1,33		18,0	196	249	3,53		28,0			
	8,2	70	85	1,00		18,2	167	221	3,60		28,2			
	8,4	80	95	1,00		18,4			0,00		28,4			
	8,6	90	112	1,47		18,6			0,00		28,6			
	8,8	76	83	0,47		18,8			0,00		28,8			
9	9,0	95	117	1,47	19	19,0			0,00	29	29,0			
	9,2	93	113	1,33		19,2			0,00		29,2			
	9,4	75	120	3,00		19,4			0,00		29,4			
	9,6	48	94	3,07		19,6			0,00		29,6			
	9,8	47	80	2,20		19,8			0,00		29,8			
10	10,0	86	112	1,73	20	20,0			0,00	30	30,0			

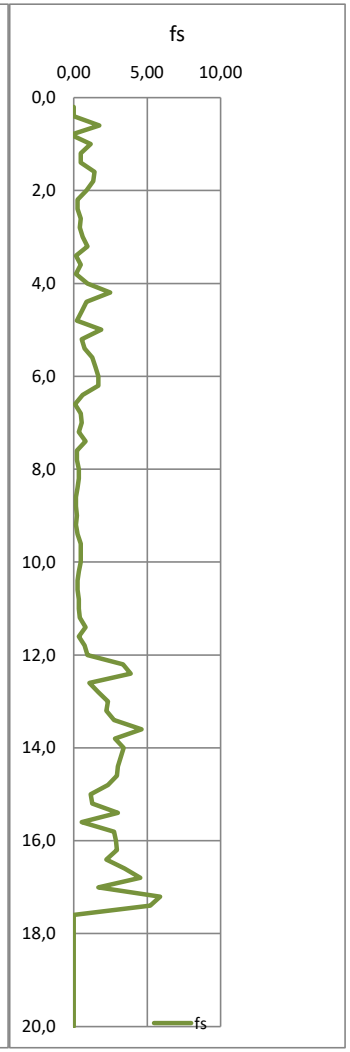




CLIENTE: Lombardini 22 Spa	Prova: *CPT 2*	Profondità raggiunta: 17,4 m.	Quota Ass P.C: - - *m.*
SITO: Siziano (PV) MILL07	Penetrom: *Pagani*	Data esecuzione: 06/12/2024	Coo: - - - -

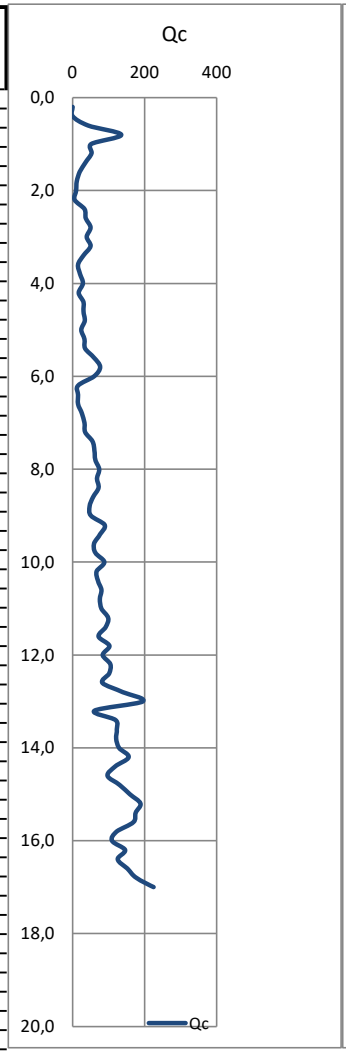
Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs
	0,2	0	0	0,00		10,2	7	12	0,33		20,2			
	0,4	0	0	0,00		10,4	6	10	0,27		20,2			
1	0,6	59	85	1,73	11	10,6	7	11	0,27	21	20,4			
	0,8	91	88	-0,20		10,8	7	12	0,33		20,6			
	1,0	42	59	1,13		11,0	12	17	0,33		20,8			
	1,2	20	27	0,47		11,2	16	22	0,40		21,0			
	1,4	40	47	0,47		11,4	24	36	0,80		21,2			
2	1,6	39	60	1,40	12	11,6	75	80	0,33	22	21,4			
	1,8	21	41	1,33		11,8	62	73	0,73		21,6			
	2,0	17	30	0,87		12,0	60	74	0,93		21,8			
	2,2	18	22	0,27		12,2	70	120	3,33		22,0			
	2,4	8	12	0,27		12,4	81	139	3,87		22,2			
3	2,6	11	18	0,47	13	12,6	93	109	1,07	23	22,4			
	2,8	9	15	0,40		12,8	84	109	1,67		22,6			
	3,0	11	20	0,60		13,0	91	126	2,33		22,8			
	3,2	14	28	0,93		13,2	126	159	2,20		23,0			
	3,4	45	47	0,13		13,4	129	170	2,73		23,2			
4	3,6	45	52	0,47	14	13,6	129	198	4,60	24	23,4			
	3,8	48	50	0,13		13,8	167	209	2,80		23,6			
	4,0	45	59	0,93		14,0	134	185	3,40		23,8			
	4,2	32	69	2,47		14,2	178	226	3,20		24,0			
	4,4	67	80	0,87		14,4	154	199	3,00		24,2			
5	4,6	54	62	0,53	15	14,6	165	209	2,93	25	24,6			
	4,8	68	71	0,20		14,8	179	214	2,33		24,8			
	5,0	59	87	1,87		15,0	184	201	1,13		25,0			
	5,2	52	60	0,53		15,2	101	120	1,27		25,2			
	5,4	62	73	0,73		15,4	75	120	3,00		25,4			
6	5,6	70	89	1,27	16	15,6	92	100	0,53	26	25,6			
	5,8	100	122	1,47		15,8	80	121	2,73		25,8			
	6,0	98	123	1,67		16,0	86	129	2,87		26,0			
	6,2	105	130	1,67		16,2	84	128	2,93		26,2			
	6,4	150	159	0,60		16,4	55	88	2,20		26,4			
7	6,6	49	50	0,07	17	16,6	95	147	3,47	27	26,6			
	6,8	9	16	0,47		16,8	121	189	4,53		26,8			
	7,0	9	17	0,53		17,0	210	235	1,67		27,0			
	7,2	12	17	0,33		17,2	113	201	5,87		27,2			
	7,4	6	18	0,80		17,4	121	199	5,20		27,4			
8	7,6	7	10	0,20	18	17,6			0,00	28	27,6			
	7,8	6	9	0,20		17,8			0,00		27,8			
	8,0	6	11	0,33		18,0			0,00		28,0			
	8,2	7	12	0,33		18,2			0,00		28,2			
	8,4	5	9	0,27		18,4			0,00		28,4			
	8,6	6	8	0,13		18,6			0,00		28,6			
	8,8	5	7	0,13		18,8			0,00		28,8			
9	9,0	4	7	0,20	19	19,0			0,00	29	29,0			
	9,2	5	7	0,13		19,2			0,00		29,2			
	9,4	9	13	0,27		19,4			0,00		29,4			
	9,6	13	20	0,47		19,6			0,00		29,6			
	9,8	13	20	0,47		19,8			0,00		29,8			
10	10,0	10	17	0,47	20	20,0			0,00	30	30,0			

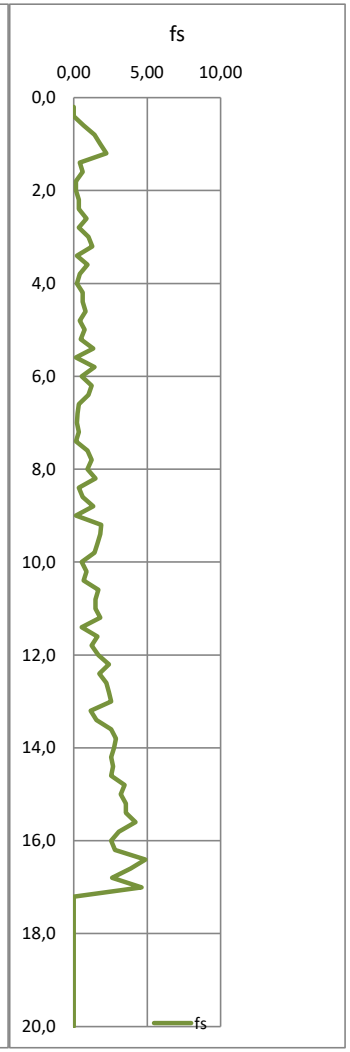




CLIENTE: Lombardini 22 Spa	Prova: *CPT 3*	Profondità raggiunta: 17,0 m.	Quota Ass P.C: - - *m.*
SITO: Siziano (PV) MILL07	Penetrom: *Pagani*	Data esecuzione: 06/12/2024	Coo: - - - -

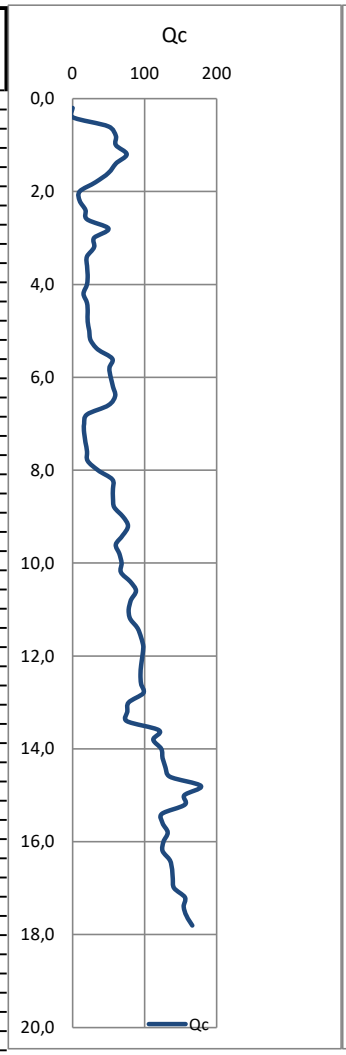
Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs
	0,2	0	0	0,00		10,2	67	80	0,87		20,2			
	0,4	0	0	0,00		10,4	70	80	0,67		20,2			
1	0,6	43	53	0,67	11	10,6	80	105	1,67	21	20,4			
	0,8	135	156	1,40		10,8	76	98	1,47		20,6			
	1,0	52	79	1,80		11,0	80	102	1,47		20,8			
	1,2	53	86	2,20		11,2	99	126	1,80		21,0			
	1,4	36	42	0,40		11,4	92	100	0,53		21,2			
2	1,6	20	29	0,60	12	11,6	72	96	1,60	22	21,4			
	1,8	12	14	0,13		11,8	102	120	1,20		21,6			
	2,0	10	12	0,13		12,0	84	109	1,67		21,8			
	2,2	6	11	0,33		12,2	105	141	2,40		22,0			
	2,4	33	38	0,33		12,4	101	127	1,73		22,2			
3	2,6	37	50	0,87	13	12,6	83	116	2,20	23	22,4			
	2,8	50	55	0,33		12,8	140	176	2,40		22,6			
	3,0	39	54	1,00		13,0	195	233	2,53		22,8			
	3,2	50	69	1,27		13,2	61	78	1,13		23,0			
	3,4	30	33	0,20		13,4	119	142	1,53		23,2			
4	3,6	15	29	0,93	14	13,6	123	161	2,53	24	23,4			
	3,8	21	27	0,40		13,8	121	164	2,87		23,6			
	4,0	29	32	0,20		14,0	129	170	2,73		23,8			
	4,2	17	26	0,60		14,2	156	194	2,53		24,0			
	4,4	30	39	0,60		14,4	118	158	2,67		24,2			
5	4,6	30	42	0,80	15	14,6	97	135	2,53	25	24,6			
	4,8	34	40	0,40		14,8	131	183	3,47		24,8			
	5,0	24	35	0,73		15,0	159	207	3,20		25,0			
	5,2	33	40	0,47		15,2	188	241	3,53		25,2			
	5,4	35	55	1,33		15,4	175	228	3,53		25,4			
6	5,6	60	62	0,13	16	15,6	169	232	4,20	26	25,6			
	5,8	77	98	1,40		15,8	123	169	3,07		25,8			
	6,0	60	68	0,53		16,0	109	147	2,53		26,0			
	6,2	15	33	1,20		16,2	146	188	2,80		26,2			
	6,4	15	30	1,00		16,4	125	198	4,87		26,4			
7	6,6	15	20	0,33	17	16,6	152	210	3,87	27	26,6			
	6,8	26	30	0,27		16,8	177	216	2,60		26,8			
	7,0	33	36	0,20		17,0	225	294	4,60		27,0			
	7,2	35	40	0,33		17,2			0,00		27,2			
	7,4	55	57	0,13		17,4			0,00		27,4			
8	7,6	61	75	0,93	18	17,6			0,00	28	27,6			
	7,8	63	81	1,20		17,8			0,00		27,8			
	8,0	74	88	0,93		18,0			0,00		28,0			
	8,2	68	90	1,47		18,2			0,00		28,2			
	8,4	72	77	0,33		18,4			0,00		28,4			
	8,6	57	66	0,60		18,6			0,00		28,6			
	8,8	47	67	1,33		18,8			0,00		28,8			
9	9,0	51	53	0,13	19	19,0			0,00	29	29,0			
	9,2	89	117	1,87		19,2			0,00		29,2			
	9,4	77	104	1,80		19,4			0,00		29,4			
	9,6	60	84	1,60		19,6			0,00		29,6			
	9,8	63	84	1,40		19,8			0,00		29,8			
10	10,0	88	96	0,53	20	20,0			0,00	30	30,0			

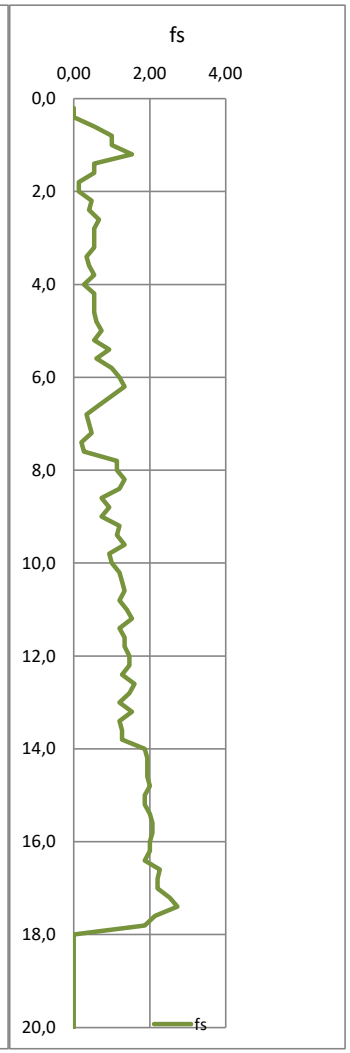




CLIENTE: Lombardini 22 Spa	Prova: *CPT 7*	Profondità raggiunta: 17,0 m.	Quota Ass P.C: - - *m.*
SITO: Siziano (PV) MILL07	Penetrom: *Pagani*	Data esecuzione: 06/12/2024	Coo: - - - -

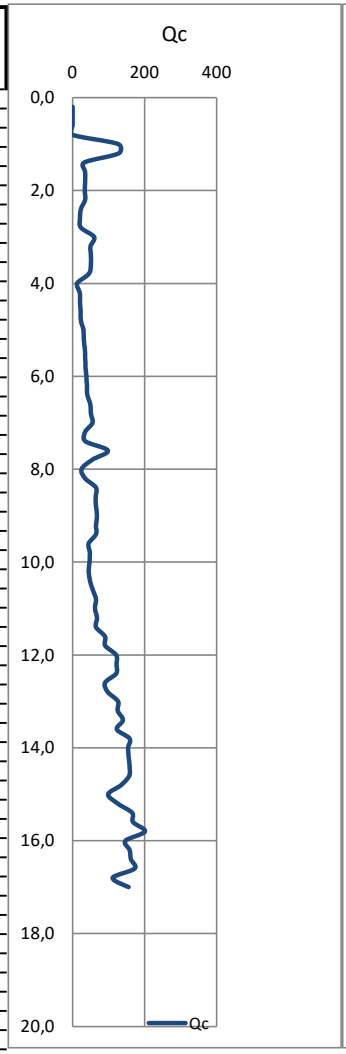
Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs
	0,2	0	0	0,00		10,2	67	85	1,20		20,2			
	0,4	0	0	0,00		10,4	80	99	1,27		20,2			
1	0,6	50	58	0,53	11	10,6	88	108	1,33	21	20,4			
	0,8	60	75	1,00		10,8	81	99	1,20		20,6			
	1,0	60	75	1,00		11,0	78	99	1,40		20,8			
	1,2	75	98	1,53		11,2	80	103	1,53		21,0			
	1,4	60	68	0,53		11,4	90	108	1,20		21,2			
2	1,6	50	58	0,53	12	11,6	95	115	1,33	22	21,4			
	1,8	32	34	0,13		11,8	98	118	1,33		21,6			
	2,0	10	12	0,13		12,0	97	119	1,47		21,8			
	2,2	10	17	0,47		12,2	95	117	1,47		22,0			
	2,4	18	24	0,40		12,4	94	113	1,27		22,2			
3	2,6	20	30	0,67	13	12,6	95	119	1,60	23	22,4			
	2,8	50	58	0,53		12,8	98	120	1,47		22,6			
	3,0	30	38	0,53		13,0	78	96	1,20		22,8			
	3,2	30	38	0,53		13,2	76	99	1,53		23,0			
	3,4	20	25	0,33		13,4	75	93	1,20		23,2			
4	3,6	20	26	0,40	14	13,6	120	139	1,27	24	23,4			
	3,8	21	29	0,53		13,8	112	131	1,27		23,6			
	4,0	20	24	0,27		14,0	123	151	1,87		23,8			
	4,2	15	23	0,53		14,2	125	154	1,93		24,0			
	4,4	20	28	0,53		14,4	129	158	1,93		24,2			
5	4,6	21	29	0,53	15	14,6	135	164	1,93	25	24,6			
	4,8	21	30	0,60		14,8	178	208	2,00		24,8			
	5,0	23	34	0,73		15,0	155	183	1,87		25,0			
	5,2	25	33	0,53		15,2	156	184	1,87		25,2			
	5,4	35	49	0,93		15,4	124	154	2,00		25,4			
6	5,6	55	64	0,60	16	15,6	125	156	2,07	26	25,6			
	5,8	51	66	1,00		15,8	132	163	2,07		25,8			
	6,0	53	71	1,20		16,0	126	156	2,00		26,0			
	6,2	56	76	1,33		16,2	125	155	2,00		26,2			
	6,4	59	74	1,00		16,4	135	163	1,87		26,4			
7	6,6	50	60	0,67	17	16,6	138	172	2,27	27	26,6			
	6,8	20	25	0,33		16,8	139	172	2,20		26,8			
	7,0	16	22	0,40		17,0	141	174	2,20		27,0			
	7,2	16	23	0,47		17,2	156	194	2,53		27,2			
	7,4	18	21	0,20		17,4	154	195	2,73		27,4			
8	7,6	20	24	0,27	18	17,6	158	190	2,13	28	27,6			
	7,8	21	38	1,13		17,8	166	194	1,87		27,8			
	8,0	35	52	1,13		18,0			0,00		28,0			
	8,2	55	75	1,33		18,2			0,00		28,2			
	8,4	56	74	1,20		18,4			0,00		28,4			
	8,6	56	67	0,73		18,6			0,00		28,6			
	8,8	58	72	0,93		18,8			0,00		28,8			
9	9,0	70	81	0,73	19	19,0			0,00	29	29,0			
	9,2	77	95	1,20		19,2			0,00		29,2			
	9,4	70	87	1,13		19,4			0,00		29,4			
	9,6	60	80	1,33		19,6			0,00		29,6			
	9,8	65	79	0,93		19,8			0,00		29,8			
10	10,0	68	83	1,00	20	20,0			0,00	30	30,0			

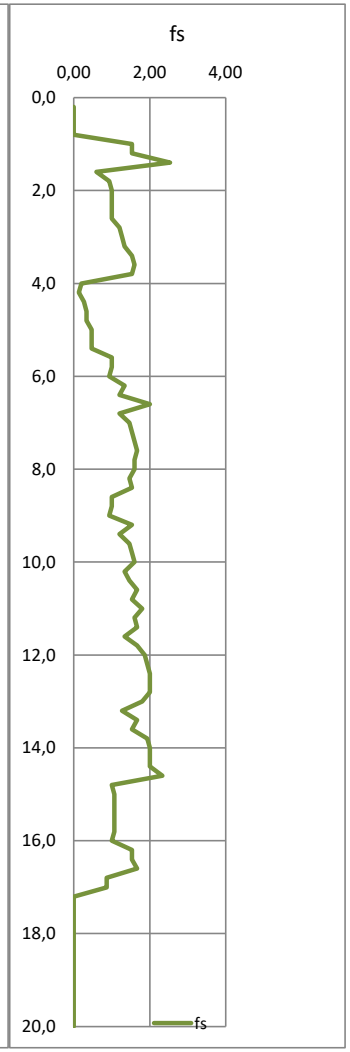




CLIENTE: Lombardini 22 Spa	Prova: *CPT 5*	Profondità raggiunta: 17,0 m.	Quota Ass P.C: - - *m.*
SITO: Siziano (PV) MILL07	Penetrom: *Pagani*	Data esecuzione: 06/12/2024	Coo: - - - -

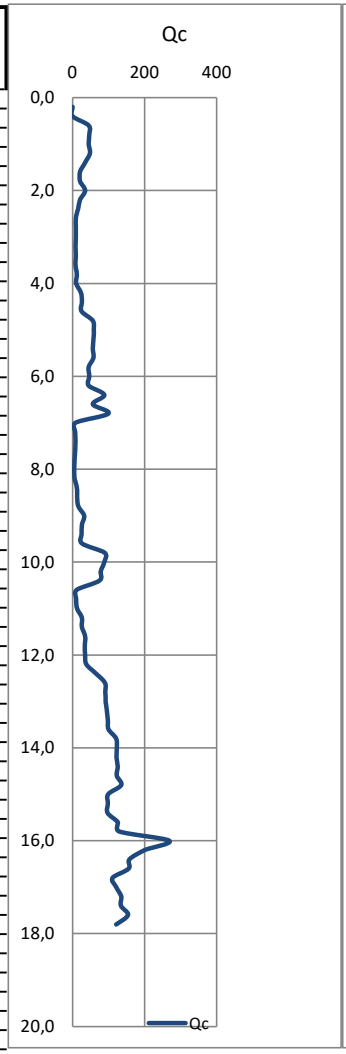
Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs
	0,2	0	0	0,00		10,2	45	65	1,33		20,2			
	0,4	0	0	0,00		10,4	48	70	1,47		20,2			
1	0,6	0	0	0,00	11	10,6	56	81	1,67	21	20,4			
	0,8	0	0	0,00		10,8	65	88	1,53		20,6			
	1,0	126	149	1,53		11,0	62	89	1,80		20,8			
	1,2	128	151	1,53		11,2	68	92	1,60		21,0			
	1,4	32	70	2,53		11,4	65	90	1,67		21,2			
2	1,6	35	44	0,60	12	11,6	90	110	1,33	22	21,4			
	1,8	35	49	0,93		11,8	91	116	1,67		21,6			
	2,0	34	49	1,00		12,0	121	149	1,87		21,8			
	2,2	35	50	1,00		12,2	122	151	1,93		22,0			
	2,4	23	38	1,00		12,4	121	151	2,00		22,2			
3	2,6	21	36	1,00	13	12,6	90	120	2,00	23	22,4			
	2,8	23	41	1,20		12,8	98	128	2,00		22,6			
	3,0	60	79	1,27		13,0	126	153	1,80		22,8			
	3,2	50	70	1,33		13,2	125	144	1,27		23,0			
	3,4	51	74	1,53		13,4	140	165	1,67		23,2			
4	3,6	51	75	1,60	14	13,6	123	146	1,53	24	23,4			
	3,8	45	68	1,53		13,8	158	187	1,93		23,6			
	4,0	13	16	0,20		14,0	154	184	2,00		23,8			
	4,2	20	22	0,13		14,2	156	186	2,00		24,0			
	4,4	21	25	0,27		14,4	158	188	2,00		24,2			
5	4,6	22	27	0,33	15	14,6	157	192	2,33	25	24,6			
	4,8	23	28	0,33		14,8	135	150	1,00		24,8			
	5,0	30	37	0,47		15,0	99	115	1,07		25,0			
	5,2	31	38	0,47		15,2	125	141	1,07		25,2			
	5,4	34	41	0,47		15,4	165	181	1,07		25,4			
6	5,6	35	50	1,00	16	15,6	168	184	1,07	26	25,6			
	5,8	36	51	1,00		15,8	201	217	1,07		25,8			
	6,0	38	52	0,93		16,0	147	162	1,00		26,0			
	6,2	40	60	1,33		16,2	158	181	1,53		26,2			
	6,4	41	59	1,20		16,4	162	185	1,53		26,4			
7	6,6	49	79	2,00	17	16,6	172	197	1,67	27	26,6			
	6,8	51	69	1,20		16,8	111	124	0,87		26,8			
	7,0	55	77	1,47		17,0	156	169	0,87		27,0			
	7,2	35	58	1,53		17,2			0,00		27,2			
	7,4	36	60	1,60		17,4			0,00		27,4			
8	7,6	98	123	1,67	18	17,6			0,00	28	27,6			
	7,8	54	78	1,60		17,8			0,00		27,8			
	8,0	25	49	1,60		18,0			0,00		28,0			
	8,2	35	57	1,47		18,2			0,00		28,2			
	8,4	65	88	1,53		18,4			0,00		28,4			
	8,6	64	79	1,00		18,6			0,00		28,6			
	8,8	65	80	1,00		18,8			0,00		28,8			
9	9,0	68	82	0,93	19	19,0			0,00	29	29,0			
	9,2	65	88	1,53		19,2			0,00		29,2			
	9,4	65	83	1,20		19,4			0,00		29,4			
	9,6	45	67	1,47		19,6			0,00		29,6			
	9,8	48	71	1,53		19,8			0,00		29,8			
10	10,0	47	71	1,60	20	20,0			0,00	30	30,0			

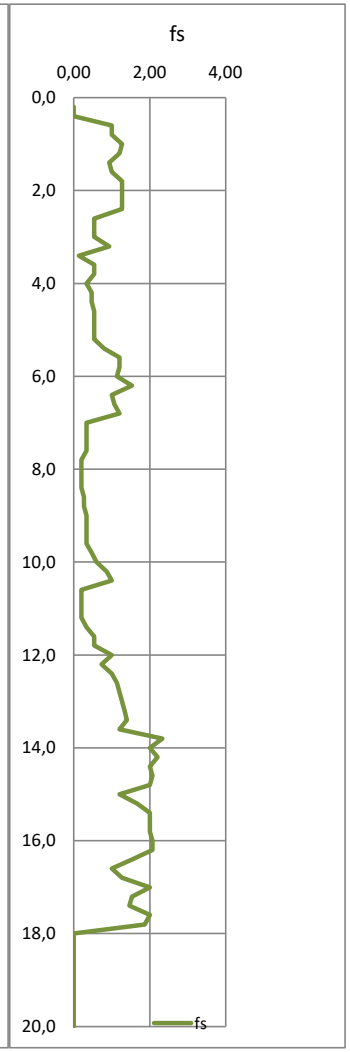




CLIENTE: Lombardini 22 Spa	Prova: *CPT 6*	Profondità raggiunta: 17,8 m.	Quota Ass P.C: - - *m.*
SITO: Siziano (PV) MILL07	Penetrom: *Pagani*	Data esecuzione: 06/12/2024	Coo: - - - -

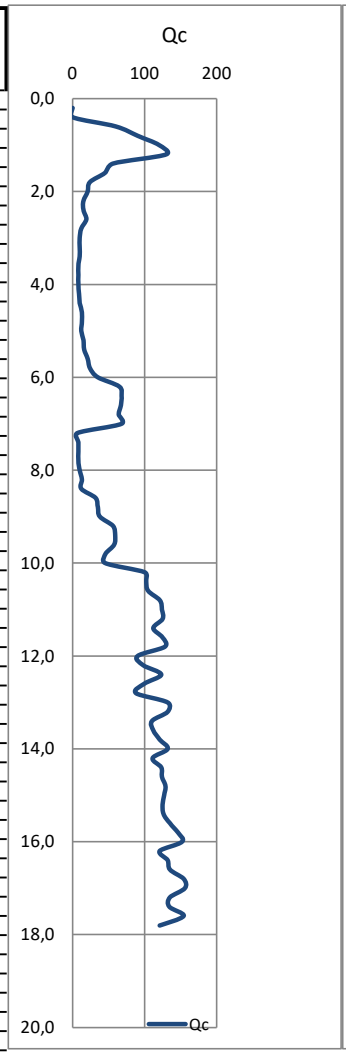
Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs
	0,2	0	0	0,00		10,2	78	91	0,87		20,2			
	0,4	0	0	0,00		10,4	75	90	1,00		20,2			
1	0,6	45	60	1,00	11	10,6	12	15	0,20	21	20,4			
	0,8	46	61	1,00		10,8	10	13	0,20		20,6			
	1,0	45	64	1,27		11,0	13	16	0,20		20,8			
	1,2	48	66	1,20		11,2	26	29	0,20		21,0			
	1,4	35	49	0,93		11,4	26	31	0,33		21,2			
2	1,6	21	36	1,00	12	11,6	35	43	0,53	22	21,4			
	1,8	21	40	1,27		11,8	34	42	0,53		21,6			
	2,0	35	54	1,27		12,0	35	50	1,00		21,8			
	2,2	21	40	1,27		12,2	38	49	0,73		22,0			
	2,4	15	34	1,27		12,4	65	80	1,00		22,2			
3	2,6	9	17	0,53	13	12,6	90	107	1,13	23	22,4			
	2,8	9	17	0,53		12,8	91	109	1,20		22,6			
	3,0	9	17	0,53		13,0	92	111	1,27		22,8			
	3,2	8	22	0,93		13,2	95	115	1,33		23,0			
	3,4	9	11	0,13		13,4	98	119	1,40		23,2			
4	3,6	8	16	0,53	14	13,6	100	118	1,20	24	23,4			
	3,8	12	20	0,53		13,8	121	156	2,33		23,6			
	4,0	10	15	0,33		14,0	123	153	2,00		23,8			
	4,2	23	30	0,47		14,2	122	155	2,20		24,0			
	4,4	26	33	0,47		14,4	125	155	2,00		24,2			
5	4,6	25	33	0,53	15	14,6	123	154	2,07	25	24,6			
	4,8	56	64	0,53		14,8	135	165	2,00		24,8			
	5,0	59	67	0,53		15,0	99	117	1,20		25,0			
	5,2	58	66	0,53		15,2	98	123	1,67		25,2			
	5,4	56	68	0,80		15,4	97	127	2,00		25,4			
6	5,6	58	76	1,20	16	15,6	125	155	2,00	26	25,6			
	5,8	45	63	1,20		15,8	129	159	2,00		25,8			
	6,0	46	63	1,13		16,0	268	299	2,07		26,0			
	6,2	45	68	1,53		16,2	201	232	2,07		26,2			
	6,4	88	103	1,00		16,4	158	181	1,53		26,4			
7	6,6	56	72	1,07	17	16,6	156	171	1,00	27	26,6			
	6,8	100	118	1,20		16,8	111	130	1,27		26,8			
	7,0	8	13	0,33		17,0	121	151	2,00		27,0			
	7,2	7	12	0,33		17,2	135	158	1,53		27,2			
	7,4	8	13	0,33		17,4	134	156	1,47		27,4			
8	7,6	7	12	0,33	18	17,6	154	184	2,00	28	27,6			
	7,8	6	9	0,20		17,8	121	149	1,87		27,8			
	8,0	5	8	0,20		18,0			0,00		28,0			
	8,2	6	9	0,20		18,2			0,00		28,2			
	8,4	12	15	0,20		18,4			0,00		28,4			
	8,6	13	17	0,27		18,6			0,00		28,6			
	8,8	16	20	0,27		18,8			0,00		28,8			
9	9,0	32	37	0,33	19	19,0			0,00	29	29,0			
	9,2	26	31	0,33		19,2			0,00		29,2			
	9,4	25	30	0,33		19,4			0,00		29,4			
	9,6	26	31	0,33		19,6			0,00		29,6			
	9,8	89	96	0,47		19,8			0,00		29,8			
10	10,0	88	97	0,60	20	20,0			0,00	30	30,0			

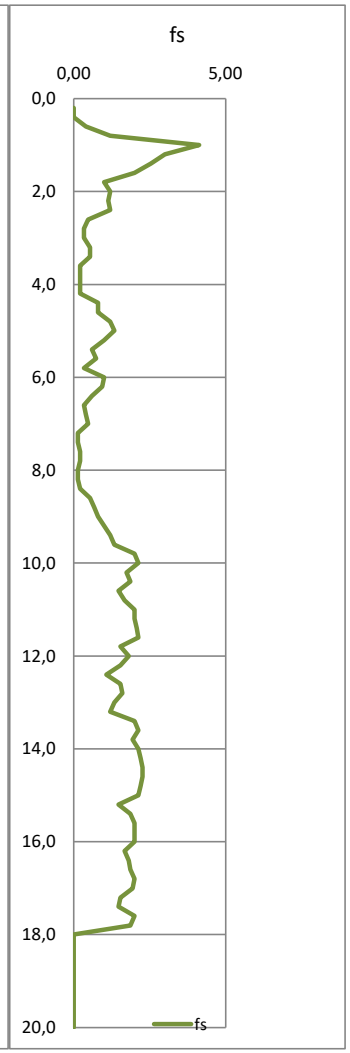




CLIENTE: Lombardini 22 Spa	Prova: *CPT 7*	Profondità raggiunta: 17,0 m.	Quota Ass P.C: - - *m.*
SITO: Siziano (PV) MILL07	Penetrom: *Pagani*	Data esecuzione: 06/12/2024	Coo: - - - -

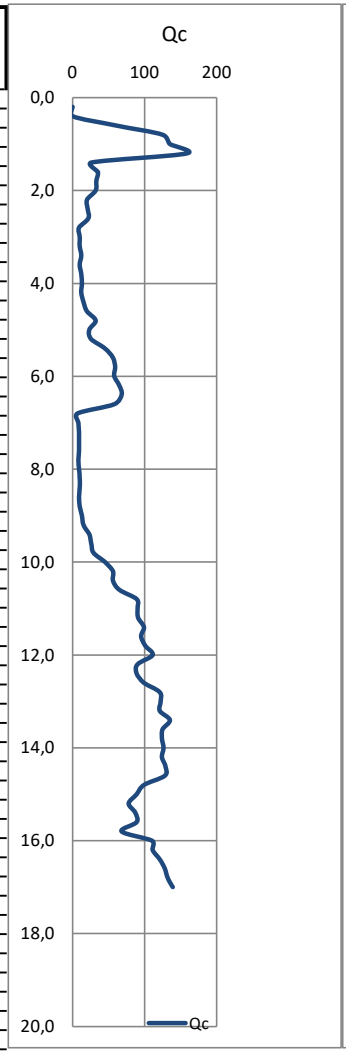
Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs
	0,2	0	0	0,00		10,2	100	126	1,73		20,2			
	0,4	0	0	0,00		10,4	102	130	1,87		20,2			
1	0,6	60	66	0,40	11	10,6	105	127	1,47	21	20,4			
	0,8	90	108	1,20		10,8	121	146	1,67		20,6			
	1,0	120	182	4,13		11,0	124	154	2,00		20,8			
	1,2	130	175	3,00		11,2	125	155	2,00		21,0			
	1,4	56	94	2,53		11,4	112	143	2,07		21,2			
2	1,6	45	75	2,00	12	11,6	125	157	2,13	22	21,4			
	1,8	24	39	1,00		11,8	128	151	1,53		21,6			
	2,0	21	39	1,20		12,0	90	117	1,80		21,8			
	2,2	15	32	1,13		12,2	98	121	1,53		22,0			
	2,4	15	33	1,20		12,4	123	139	1,07		22,2			
3	2,6	19	26	0,47	13	12,6	99	122	1,53	23	22,4			
	2,8	12	17	0,33		12,8	88	112	1,60		22,6			
	3,0	10	15	0,33		13,0	132	152	1,33		22,8			
	3,2	10	18	0,53		13,2	132	150	1,20		23,0			
	3,4	10	18	0,53		13,4	110	140	2,00		23,2			
4	3,6	8	11	0,20	14	13,6	112	144	2,13	24	23,4			
	3,8	8	11	0,20		13,8	121	150	1,93		23,6			
	4,0	8	11	0,20		14,0	132	164	2,13		23,8			
	4,2	9	12	0,20		14,2	111	144	2,20		24,0			
	4,4	10	22	0,80		14,4	123	157	2,27		24,2			
5	4,6	13	25	0,80	15	14,6	124	158	2,27	25	24,6			
	4,8	13	31	1,20		14,8	129	162	2,20		24,8			
	5,0	12	32	1,33		15,0	127	159	2,13		25,0			
	5,2	15	30	1,00		15,2	125	147	1,47		25,2			
	5,4	16	25	0,60		15,4	126	154	1,87		25,4			
6	5,6	21	32	0,73	16	15,6	135	165	2,00	26	25,6			
	5,8	24	29	0,33		15,8	146	176	2,00		25,8			
	6,0	35	50	1,00		16,0	152	182	2,00		26,0			
	6,2	65	79	0,93		16,2	121	146	1,67		26,2			
	6,4	68	77	0,60		16,4	132	159	1,80		26,4			
7	6,6	67	72	0,33	17	16,6	135	163	1,87	27	26,6			
	6,8	64	70	0,40		16,8	154	184	2,00		26,8			
	7,0	68	75	0,47		17,0	156	185	1,93		27,0			
	7,2	7	9	0,13		17,2	135	158	1,53		27,2			
	7,4	8	10	0,13		17,4	134	156	1,47		27,4			
8	7,6	8	11	0,20	18	17,6	154	184	2,00	28	27,6			
	7,8	8	11	0,20		17,8	121	149	1,87		27,8			
	8,0	10	12	0,13		18,0			0,00		28,0			
	8,2	13	15	0,13		18,2			0,00		28,2			
	8,4	12	15	0,20		18,4			0,00		28,4			
	8,6	32	40	0,53		18,6			0,00		28,6			
	8,8	35	45	0,67		18,8			0,00		28,8			
9	9,0	38	50	0,80	19	19,0			0,00	29	29,0			
	9,2	56	71	1,00		19,2			0,00		29,2			
	9,4	59	77	1,20		19,4			0,00		29,4			
	9,6	58	78	1,33		19,6			0,00		29,6			
	9,8	46	76	2,00		19,8			0,00		29,8			
10	10,0	45	77	2,13	20	20,0			0,00	30	30,0			

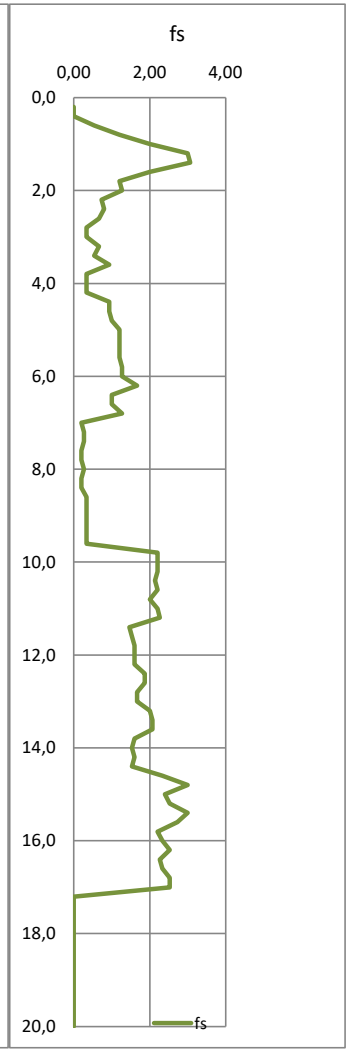




CLIENTE: Lombardini 22 Spa	Prova: *CPT 8*	Profondità raggiunta: 17,0 m.	Quota Ass P.C: - - *m.*
SITO: Siziano (PV) MILL07	Penetrom: *Pagani*	Data esecuzione: 06/12/2024	Coo: - - - -

Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs	Aste	Prof.	Lettura Rp	Lettura Rl	fs
	0,2	0	0	0,00		10,2	56	89	2,20		20,2			
	0,4	0	0	0,00		10,4	56	88	2,13		20,2			
1	0,6	60	68	0,53	11	10,6	65	98	2,20	21	20,4			
	0,8	125	143	1,20		10,8	89	119	2,00		20,6			
	1,0	135	165	2,00		11,0	90	123	2,20		20,8			
	1,2	159	204	3,00		11,2	91	125	2,27		21,0			
	1,4	26	72	3,07		11,4	99	121	1,47		21,2			
2	1,6	35	65	2,00	12	11,6	95	118	1,53	22	21,4			
	1,8	33	51	1,20		11,8	101	125	1,60		21,6			
	2,0	32	51	1,27		12,0	111	135	1,60		21,8			
	2,2	20	31	0,73		12,2	90	114	1,60		22,0			
	2,4	21	33	0,80		12,4	89	117	1,87		22,2			
3	2,6	22	32	0,67	13	12,6	99	127	1,87	23	22,4			
	2,8	9	14	0,33		12,8	121	146	1,67		22,6			
	3,0	10	15	0,33		13,0	122	147	1,67		22,8			
	3,2	10	20	0,67		13,2	121	151	2,00		23,0			
	3,4	12	20	0,53		13,4	135	166	2,07		23,2			
4	3,6	10	24	0,93	14	13,6	125	156	2,07	24	23,4			
	3,8	12	17	0,33		13,8	124	148	1,60		23,6			
	4,0	13	18	0,33		14,0	126	149	1,53		23,8			
	4,2	12	17	0,33		14,2	124	148	1,60		24,0			
	4,4	15	29	0,93		14,4	129	152	1,53		24,2			
5	4,6	20	34	0,93	15	14,6	128	163	2,33	25	24,6			
	4,8	32	47	1,00		14,8	99	144	3,00		24,8			
	5,0	23	41	1,20		15,0	89	125	2,40		25,0			
	5,2	26	44	1,20		15,2	78	116	2,53		25,2			
	5,4	45	63	1,20		15,4	87	132	3,00		25,4			
6	5,6	56	74	1,20	16	15,6	89	130	2,73	26	25,6			
	5,8	59	78	1,27		15,8	68	101	2,20		25,8			
	6,0	58	77	1,27		16,0	110	145	2,33		26,0			
	6,2	65	90	1,67		16,2	111	149	2,53		26,2			
	6,4	68	83	1,00		16,4	121	155	2,27		26,4			
7	6,6	58	73	1,00	17	16,6	128	163	2,33	27	26,6			
	6,8	7	26	1,27		16,8	132	170	2,53		26,8			
	7,0	8	11	0,20		17,0	139	177	2,53		27,0			
	7,2	9	13	0,27		17,2			0,00		27,2			
	7,4	9	13	0,27		17,4			0,00		27,4			
8	7,6	9	12	0,20	18	17,6			0,00	28	27,6			
	7,8	8	11	0,20		17,8			0,00		27,8			
	8,0	9	13	0,27		18,0			0,00		28,0			
	8,2	10	13	0,20		18,2			0,00		28,2			
	8,4	10	13	0,20		18,4			0,00		28,4			
	8,6	9	14	0,33		18,6			0,00		28,6			
	8,8	10	15	0,33		18,8			0,00		28,8			
9	9,0	13	18	0,33	19	19,0			0,00	29	29,0			
	9,2	15	20	0,33		19,2			0,00		29,2			
	9,4	23	28	0,33		19,4			0,00		29,4			
	9,6	26	31	0,33		19,6			0,00		29,6			
	9,8	29	62	2,20		19,8			0,00		29,8			
10	10,0	45	78	2,20	20	20,0			0,00	30	30,0			





ALLEGATO 4 – DOCUMENTAZIONE PROVA MASW

INDAGINE MASW

E' è stata effettuata un'indagine geofisica all'interno dell'area in studio, al fine di fornire indicazioni sul comportamento del sottosuolo nell'ipotesi di un evento sismico.

Nello specifico si è disposta la realizzazione di una base sismica denominata "L1" attrezzata con geofoni con registrazione verticale. In corrispondenza della linea "L1" è stata realizzata un'indagine sismica applicando la metodologia MASW la quale consente, attraverso alcune trasformazioni, di risalire alla velocità delle onde S (onde di taglio).

L'attrezzatura utilizzata in campagna è costituita da un sismografo a 12 canali, 12 geofoni distanziati di 5.0 m, mazza e piastra di battuta.

Il sismografo ha possibilità di stack degli impulsi sismici, filtraggio digitale programmabile (per la riduzione dei rumori) e guadagno verticale del segnale (in ampiezza) con sensibilità tra 1 e 100 decibel. La registrazione dei dati in digitale viene effettuata su PC sul quale vengono successivamente elaborati i dati.

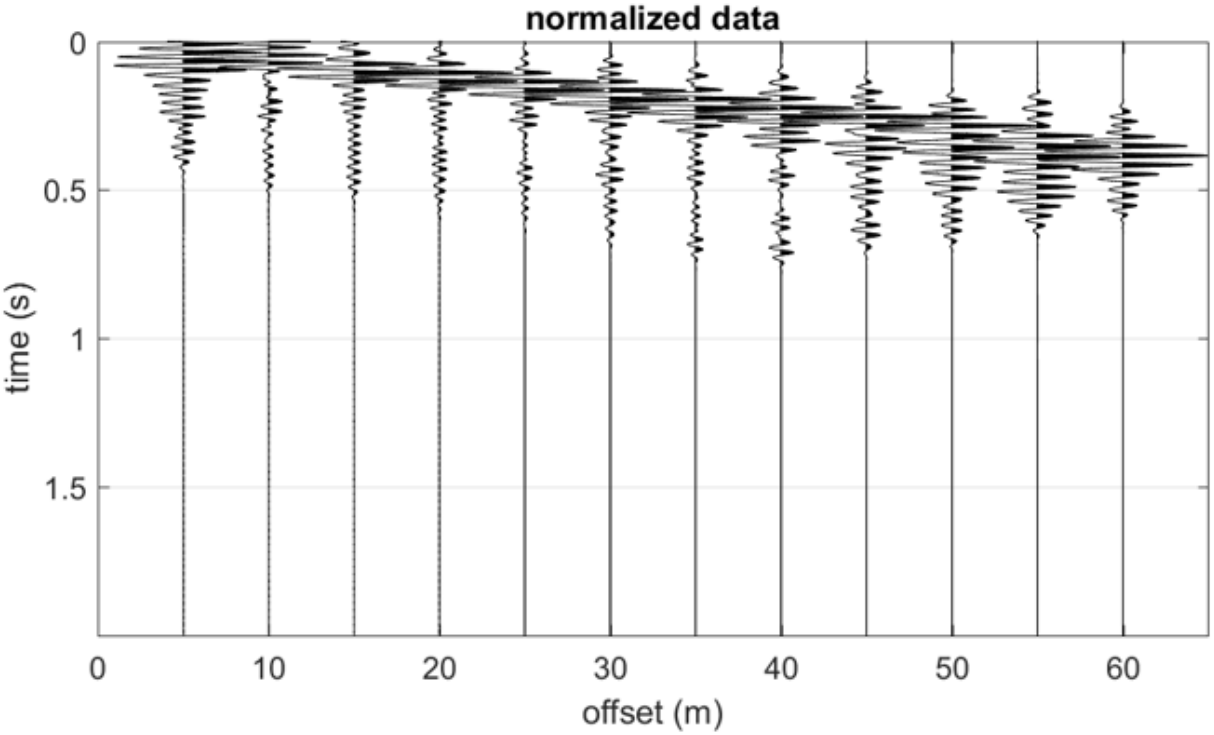
L'indagine MASW realizzata lungo lo stendimento L1 ha previsto un punto di energizzazione (andata), posto a 5,0 m di distanza dal primo geofono.

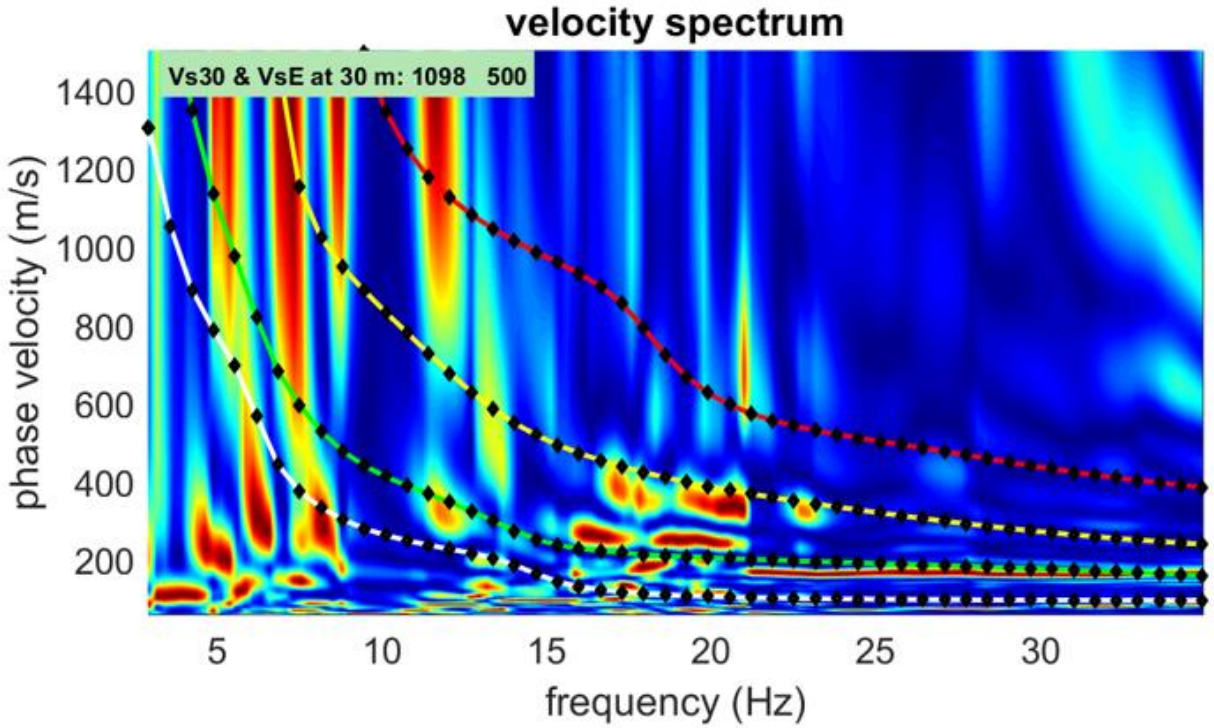
L'acquisizione della velocità delle onde di taglio (V_s) avviene per mezzo di indagine sismica a rifrazione con metodo MASW, mediante energizzazione del sottosuolo e registrazione degli arrivi delle onde rifrante in corrispondenza di geofoni verticali.

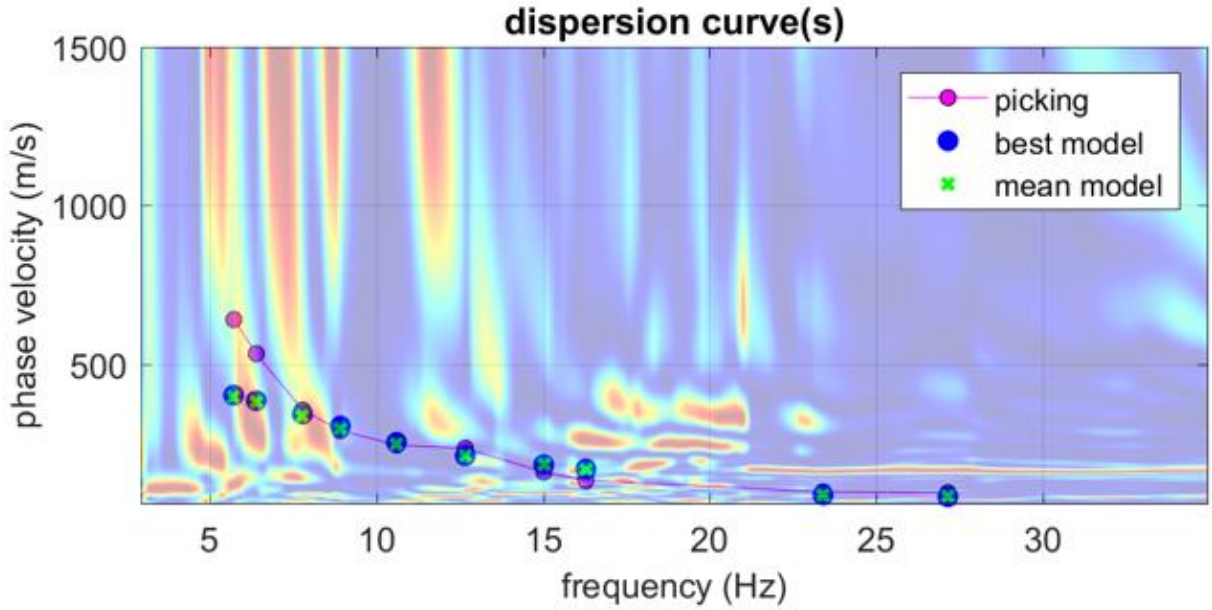
L'elaborazione dei dati sismici con metodo MASW è stata effettuata per mezzo del software che, mediante la trasformata di Fourier, è in grado di fornire indicazioni sulla suddivisione delle unità litologiche del sottosuolo mediante l'individuazione delle onde V_s.

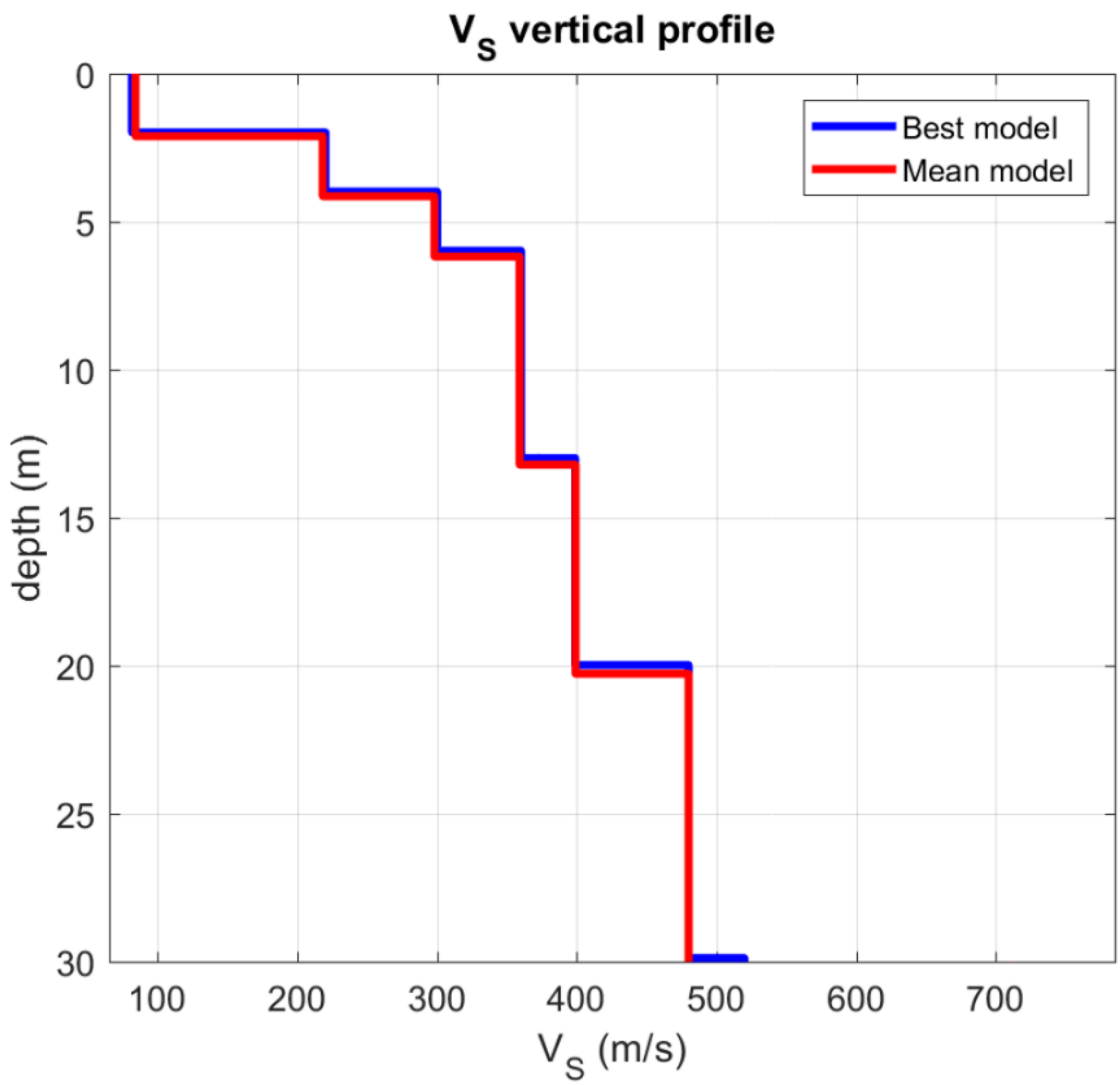
Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier), i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si

propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.


normalized data
time (s)
0
0.5
1
1.5
0
10
20
30
40
50
60
offset (m)


velocity spectrum
Vs30 & VsE at 30 m: 1098 500
phase velocity (m/s)
1400
1200
1000
800
600
400
200
5
10
15
20
25
30
frequency (Hz)


dispersion curve(s)
phase velocity (m/s)
1500
1000
500
5
10
15
20
25
30
frequency (Hz)
picking
best model
mean model


V_S vertical profile
depth (m)
0
5
10
15
20
25
30
100
200
300
400
500
600
700
V_S (m/s)
Best model
Mean model

Subsurface Model

Vs (m/s)	Thickness (m)
81	2.0
220	2.0
300	2.0
360	7.0
399	7.0
480	9.9
520	0.1

Vp (m/s)	Poisson
200	0.40
458	0.35
625	0.35
750	0.35
830	0.35
999	0.35
973	0.30

Vs30 and VsE (m/s): 306